Цена 20 коп.

Ю. В. БЕЗДЕЛЬЕВ

ПЛОСКИЕ И ОБЪЕМНЫЕ МОДУЛИ В ЛЮБИТЕЛЬСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ

МАССОВАЯ
РАДИО
БИБЛИОТЕКА

Выпуск 930

Ю. В. БЕЗДЕЛЬЕВ

ПЛОСКИЕ И ОБЪЕМНЫЕ МОДУЛИ В ЛЮБИТЕЛЬСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ

МОСКВА · «ЭНЕРГИЯ» · 1977

6Ф2
Б39
УДК 621.396.6

ЮРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ БЕЗДЕЛЬЕВ

ПЛОСКИЕ И ОБЪЕМНЫЕ МОДУЛИ В ЛЮБИТЕЛЬСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Редактор В. С. Локтаев
Редактор издательства Р. М. Малинин
Обложка художника А. А. Иванова
Художественный редактор Д. И. Чернышев
Технический редактор Т. А. Маслова
Корректор А. К. Улегова

ИБ № 527

Сдано в набор 3/IX 1976 г. Подписано к печати 21/X 1976 г. Т-15198. Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская № 2 Усл. печ. л. 4,2 Уч.-изд. л. 4,84. Тираж 40 000 экз. Зак. 714. Цена 20 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая, наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 600610, г. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

Бездельев Ю. В.

Б 39 Плоские и объемные модули в любительских конструкциях. М., «Энергия», 1977.

80 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 930).

В книге рассказано о конструировании и изготовлении модулей с применением печатного монтажа для любительской радиоэлектронной аппаратуры. Рассмотрены вопросы налаживания и ремонта аппаратуры, составленной из этих модулей.

Книга рассчитана на широкий круг радиолюбителей.

Б $\frac{30404-203}{051(01)-77}$ 166-76 6Ф2

Светлой памяти
Владимира Александровича Бурлянда

ПРЕДИСЛОВИЕ

Миниатюризация является одним из основных направлений при создании современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Модульные конструкции радиолюбители применяют не часто. Причину этого автор видит в малом количестве литературы по разработке, изготовлению и использованию модулей радиолюбителями.

Предлагаемая читателям книга в какой-то мере восполняет этот пробел. В ней освещены вопросы, которые наиболее часто задавались автору при демонстрации его конструкций на Всесоюзных выставках творчества радиолюбителей-конструкторов. Круг этих вопросов достаточно широк; он охватывает технологию изготовления печатных плат, макетирование, разбивку устройств на модули, компоновку, сборку и налаживание модулей. Разделы книги, посвященные этим вопросам, могут быть полезны начинающим радиолюбителям и всем, кто не имеет достаточного опыта в конструировании РЭА на печатных платах.

Отзывы о книге просим присылать по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая набережная, 10, издательство «Энергия», редакция Массовой радиобиблиотеки.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Модулем называют конструктивный узел РЭА, выполняющий определенную функцию, например усилитель промежуточной частоты (УПЧ), усилитель низкой частоты (УНЧ) и т. п. На рис. 1 приведены примеры электрических принципиальных схем модулей для радиовещательных приемников. Как правило, модули выполняют с применением печатного монтажа, т. е. их соединительные проводники имеют плоскую форму и расположены на поверхностях плат из изоляционного материала — гетинакса или стеклотекстолита. Размеры модулей выбирают так, чтобы они легко сопрягались между собой, т. е. имели

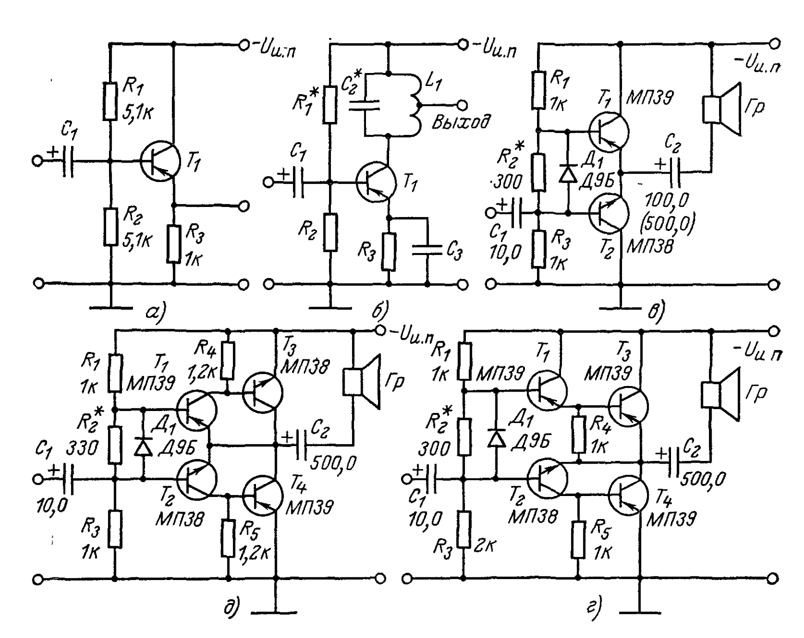


Рис. 1. Электрические принципиальные схемы модулей, выполняющих функции: эмиттерного повторителя (*а*), резонансного каскада УВЧ (*б*), оконечного бестрансформаторного каскада УНЧ (*в*), то же с составными транзисторами (*г*, *д*).

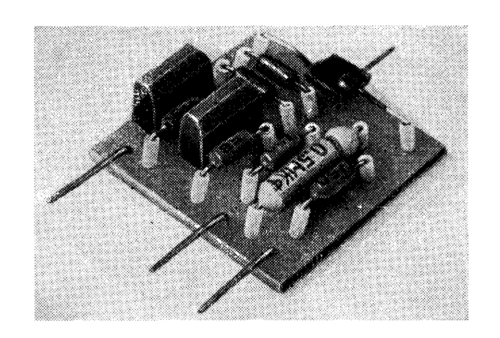


Рис. 2. Модуль с расположением радиодеталей параллельно плате (плоский монтаж).

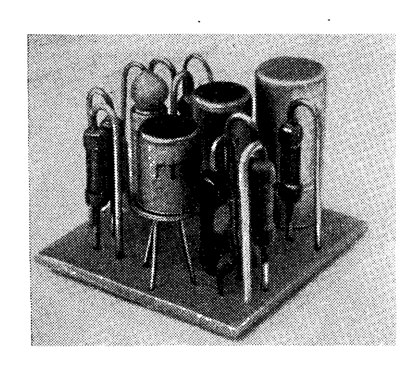


Рис. 3 Модуль с расположением деталей перпендикулярно плате (вертикальный монтаж).

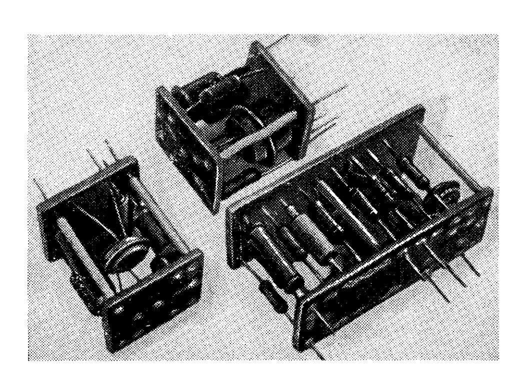


Рис. 4. Модуль с объемным монтажом.

одинаковые или кратные размеры. Например, плоские модули типа «Элемент-2» имеют размеры 34×12, 34×26, 34×40 мм и т. д. [1]. Выполняют модули в виде конструктивно законченных узлов. Это позволяет производить их проверку и настройку раздельно. Число деталей, приходящихся на 1 см³ объема конструкции, называют плотностью упаковки. Модули, выполненные из обычных деталей, могут иметь плотность упаковки до 3—5 деталей/см³, в то время как на больших платах, даже при использовании вертикального монтажа, она не превышает 0,5—2 деталей/см³ [1].

В модульной аппаратуре ускоряется поиск неисправностей: отыскивают неисправный модуль, заменяют исправным, а в изъятом из устройства модуле найти и устранить неисправность значительно легче, чем в устройстве с уплотненным монтажом.

Для радиолюбителей важно, что можно модернизировать модульную конструкцию — один или несколько модулей заменить другими, с лучшими параметрами или с иной электрической схемой. При этом новые модули размещают на местах изъятых. В частности, при модульной конструкции упрощается переделка приемника прямого усиления в супергетеродинный. С модулями могут работать радиолюбители любой квалификации, в том числе и начинающие [2]. Некоторые из радиолюбительских конструкций модулей РЭА показаны на рис. 2—4.

Глава первая
ПЕЧАТНЫЙ МОНТАЖ

1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОНТАЖ ПЛАТ

В качестве исходного материала для изготовления плат с печатным монтажом применяют преимущественно фольгированный гетинакс с приклеенной медной фольгой с одной стороны, реже — фольгированный стеклотекстолит. В ряде случаев используют эти материалы с двусторонней металлизацией.

Изготовление модуля с печатным монтажом разделяется на четыре основных этапа: 1) на поверхность заготовки платы, вырезанной из фольгированного гетинакса (стеклотекстолита), наносят кислотоупорным лаком (краской) изображение печатных проводников с контактными площадками, предназначенными для припайки выводов радиодеталей (транзисторов, диодов, резисторов и т. п.); 2) путем химического травления заготовки платы с нанесенным изображением печатных проводников удаляют с поверхности гетинакса (стеклотекстолита) участки фольги между изображением проводников; 3) смывают лак (краску) и остатки реактива; 4) после просушки платы сверлят отверстия, устанавливают на ней радиодетали и производят пайку их выводов к контактным площадкам. При применении платы, фольгированной с одной стороны, радиодетали располагают на другой ее стороне, выводы пропускают через отверстия в центрах контактных площадок и припаивают к последним.

Рисунок проводников печатной платы выполняют в прямоугольной системе координат; для печатных плат промышленного производства принят стандартный шаг сетки 2,5 мм (расстояние между сосед-

ними параллельными линиями). В любительских конструкциях рекомендуется применять такой же шаг либо удвоенный (5 мм).

Контактные площадки печатной платы располагают в узлах координатной сетки, т. е. на пересечениях ее линий, а в некоторых случаях между узлами на линиях, например при малых расстояниях между выводами какого-либо радиоэлемента и при расположении геометрических осей малогабаритных радиодеталей перпендикулярно к поверхности платы (так называемый «вертикальный монтаж») (см. рис. 3).

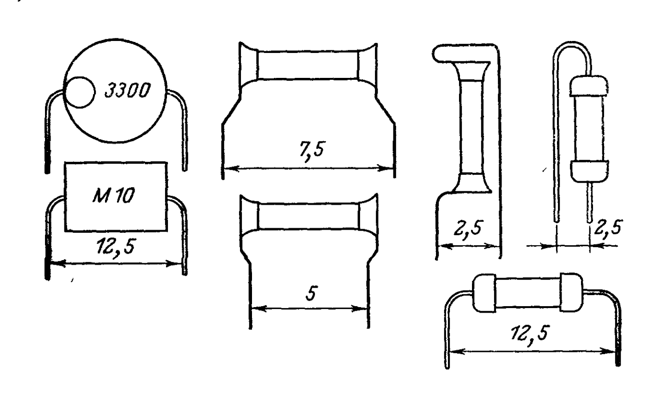


Рис. 5. Гибка выводов радиодеталей, дающая возможность получить расстояния между их выводами, кратные стандартному шагу координатной сетки.

Электронная промышленность выпускает ряд типов радиоэлементов с расстоянием между осями выводов, равным шагу печатного монтажа 2,5 мм с расстояниями, кратными по отношению к этому размеру: 1,25; 5,0; 7,5 мм и т. д. К числу таких радиоэлементов относятся, например, электролитические конденсаторы К50-6, транзисторы серии КТ315 и др., микросхемы серий К224, К237.

Расстояния между выводами других радиоэлементов с гибкими проволочными выводами (например, резисторов ВС, МЛТ, конденсаторов КД, КТ, ЭМ, БМ, МБМ) легко привести к размеру, кратному шагу 2,5 мм, соответствующим образом изгибая выводы (рис. 5).

Компоновать устройство из нескольких печатных плат легче при отношении их сторон, равном 1 : 1, 1 : 2 или 1 : 3. При толщине плат 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 мм размер их сторон с нормальной плотностью монтажа берут не более 100; 150; 200 и 300 мм соответственно. При повышенной плотности монтажа и при пайке погружением в расплавленный припой размер плат уменьшается в 1,5—2,5 раза.

Точность воспроизведения проводников заданной формы и контактных площадок зависит от способов нанесения рисунка печатных проводников на фольгу. Для радиолюбителей наиболее доступно нанесение краски через трафарет кистью или распылением, вычерчивание проводников с применением липкой ленты или трафаретов. Можно в трафарете из плотной бумаги или тонкого картона [11] вырезать рисунок, точно соответствующий заданному размещению на плате

контактных площадок и печатных проводников. Трафарет прижимают к фольге заготовки, наносят через вырезы краску или лак в аэрозольной упаковке; полученный рисунок ретушируют, после чего плату травят. Таким способом можно получить печатные проводники шириной не менее 1—1,5 мм. Процесс изготовления трафарета достаточно трудоемок, поэтому этот способ рационально применять в случае, когда нужно изготовить несколько одинаковых плат с малой плотностью монтажа.

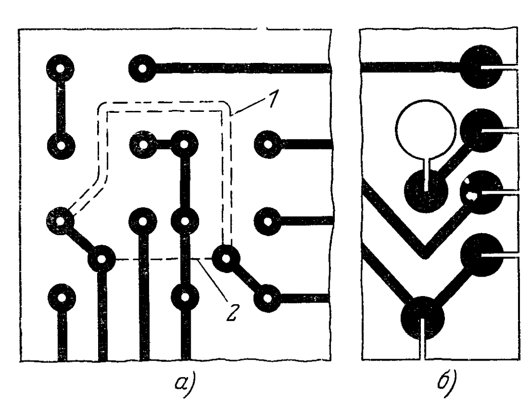


Рис. 6 Пример расположения печатных проводников на плате (*а*) и площадки для подпайки деталей (*б*).

Нанесение рисунка печатных схем кислотоупорными составами [9, 11] радиолюбители широко применяют вследствие простоты технологии. Применение рейсфедера или чертежной трубочки улучшает качество рисунка и уменьшает трудоемкость его изготовления.

Выполнение рисунка с применением липкой ленты [11] позволяет получить платы хорошего качества с малой затратой времени. Сущность этого метода состоит в том, что не подлежащая стравливанию фольга будущих проводников защищается от воздействия растворителя наклейкой липкой ленты, а на места расположения контактных площадок наклеивают кружочки или квадратики из той же ленты.

Для радиолюбительских конструкций автор считает наилучшим способ вычерчивания рисунка печатных проводников с помощью универсальных трафаретов [3, 14]. Поэтому в настоящей книге описывается только этот способ.

Детали на плате должны быть размещены так, чтобы проводники высокочастотных цепей были возможно короче. Проводники входных и выходных цепей, особенно с высокочастотными сигналами, не следует прокладывать рядом, параллельно друг другу.

Для уменьшения взаимного влияния применяют экранирование печатных проводников, а для увеличения сопротивления изоляции между проводниками плату покрывают лаком. Участки фольги, не используемые как проводники, желательно оставлять на плате, соединять между собой и с корпусом прибора.

При разработке печатных плат обычно применяют односторонний монтаж. Если при этом возникают трудности с размещением печатных проводников без пересечения (*2*), приходится некоторые проводники удлинять, например, как это показано штриховой линией *1* на рис. 6, *а*. Если это не удается, вводят проволочные перемычки между печатными проводниками (штриховая линия *2* на рис. 6, *а*) или применяют двусторонний печатный монтаж, используя материал, фольгированный с обеих сторон.

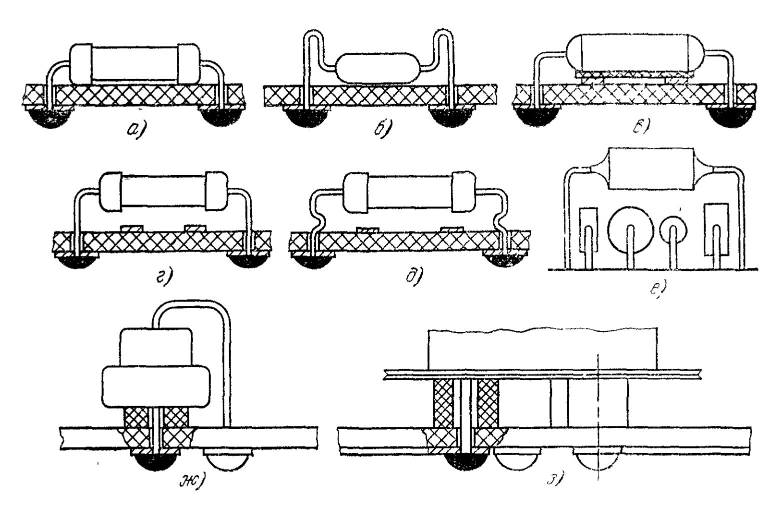


Рис. 7. Способы установки радиодеталей на печатной плате.

На рис. 7 *а* — *з* приведены способы установки радиодеталей на печатной плате. При размещении деталей друг над другом (рис. 7, *е*) лучше используется объем, но снижается выбропрочность монтажа и иногда необходима дополнительная формовка выводов (рис. 7, *д*). Фольга контактной площадки с припаянным к ней выводом детали может оторваться от основания [11, 16] вследствие неправильного режима пайки (температура жала паяльника более 260° С или велика длительность пайки) и небрежного обращения с печатными платами при монтаже и эксплуатации. В устройствах, используемых на транспортных средствах, причиной отрыва контактных площадок может быть вибрация. Во избежание указанных повреждений пайку нужно выполнять нормально нагретым паяльником, а при установке на плате с зазором деталей с относительно большой массой (конденсаторы ЭТО, мощные транзисторы и др.) применять фиксацию их выводов и корпусов, как показано на рис. 7, *ж*, *з* [11, 16]. Формовку выводов удобно делать приспособлением, предложенным В. Фроловым [44]. Обязательно формовать выводы всех деталей перед их монтажом в аппаратуру, подверженную вибрациям.

При объемном монтаже (см. рис. 4) выводы большинства деталей закрепляют на каждой из плат. Транзисторы крепят на одной плате либо на обеих. При объемном монтаже легко заменять только

детали, расположенные по периметрам плат, поэтому здесь размещают элементы, требующие подбора. Для облегчения их замены на краях одной или обеих плат делают прорези до центров контактных площадок первого ряда (рис. 6, *б*).

Если подбираемую деталь нельзя расположить у краев плат, то в одной из них делают отверстие диаметром больше диаметра детали и пропил в площадке.

С увеличением плотности монтажа возникают технологические трудности в изготовлении проводников и зазоров малой ширины, особенно при вертикальном монтаже. При уплотнении монтажа увеличиваются паразитные связи и аппаратура становится склонной к самовозбуждению (установка экранов при таком монтаже затруднительна). По мере уплотнения монтажа усложняются настройка и ремонт аппаратуры; в приборе с большой плотностью монтажа сложен процесс поиска дефектов.

2. ТРАФАРЕТЫ ДЛЯ ВЫЧЕРЧИВАНИЯ РИСУНКА ПЕЧАТНЫХ ПРОВОДНИКОВ

Рисунок печатных проводников и контактных площадок на фольге чертят с помощью трафаретов, выполненных из целлулоида, органического стекла или дюралюминия толщиной 1—1,2 мм (рис. 8 и 9) и перьев, изготовленных из игл медицинских шприцев (рис. 10).

Максимально допустимый размер контактной площадки зависит от расстояния между печатными проводниками. При шаге координатной сетки 2,5 и 5 мм оптимальные диаметры контактных площадок *D* равны соответственно 1,8 и 3,2 мм; для точек перегиба — 0,6 и 0,9 мм. Трафареты с отверстиями указанных диаметров должны иметь одинаковые размеры или размещаться на одной пластине; при этом трафареты из органического стекла шириной более 80—100 мм делать не следует, так как они будут очень гибкими и работать с ними трудно. Если трафарет короче платы, то после выполнения части рисунка трафарет перемещают до тех пор, пока не будет вычерчена вся плата. Все трафареты должны иметь соосные отверстия. Изготовление трафаретов начинают с подготовки пластин. Перпендикулярность их сторон проверяют по угольнику. Один из углов срезают под 45° — получают «ключ» (*К*, см. рис. 8). На одной из пластин штангенциркулем наносят взаимно перпендикулярные линии с шагом 2,5 мм. Места пересечений линий кернят хорошо заточенным керном. Для большей точности при этом следует пользоваться лупой с 4—6-кратным увеличением (очень удобен витаскоп — бинокулярная телескопическая лупа, которую можно изготовить из театральных очков-бинокля [43]). В накерненной пластине сверлят отверстия диаметром 0,5—0,6 мм. Эту пластину используют как кондуктор: через нее поочередно сверлят все остальные пластины. Для шага 5 мм отверстия сверлят по той же пластине через одно. При сверлении пластины складывают так, чтобы совпадали ключ и их края. Для большей точности их скрепляют струбцинами. Набивающуюся между пластинами стружку удаляют листом бумаги. Если надо переместить струбцины в просверленные отверстия, ставят 3—4 штифта. Далее отверстия рассверливают до нужного диаметра. Для увеличения прочности трафаретов шириной более 80 мм из тонкого органического стекла или целлулоида отверстия располагают через 5 мм.

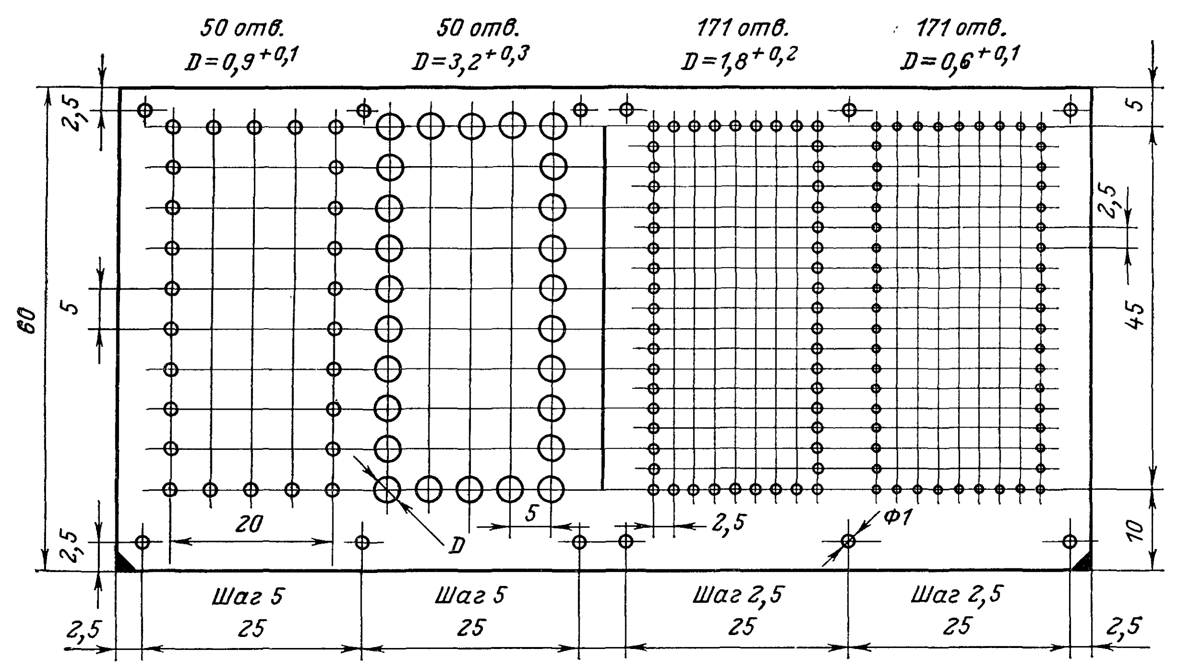


Рис. 8. Трафареты для вычерчивания контактных площадок.

Рис. 9. Совмещенный трафарет для вычерчивания проводников на печатной плате.

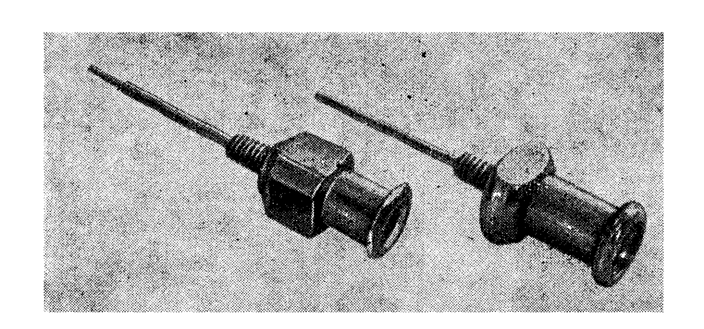


Рис. 10. Перья для вычерчивания рисунка на фольге.

Для удобства работы с трафаретами рекомендуется наносить на них метки, отмечающие пятерки и десятки строк сетки в продольном и поперечном направлении. Метки пятерок можно выполнить в виде точек зеленого или голубого цвета, метки десяток — в виде красных или желтых черточек.

3. ПРИБОР ДЛЯ ВЫЧЕРЧИВАНИЯ РИСУНКА ПЕЧАТНЫХ ПРОВОДНИКОВ

Для вычерчивания рисунков печатных проводников рекомендуется изготовить прибор, устройство которого показано на рис. 11. На основании прибора *1* (рис. 11, *а*) расположены детали зажимного устройства плат *11*, *18*, кронштейн *2* с подвижным держателем пера *9*

и другие детали конструкции. Основание чертежного прибора представляет собой плоскую прямоугольную плиту толщиной 4—6 мм. Ее можно изготовить из дюралюминия, органического стекла или иного материала. На углах основания (с нижней его стороны) укрепляют ножки — кусочки резины толщиной 1,5—2 мм.

В зажимное устройство входят неподвижный упор *11* и два подвижных зажима *18*. Опорные планки *17*, установленные под неподвижным упором, и подвижные зажимы предохраняют от смазывания рисунок на нижней стороне двусторонней платы. Неподвижный упор, состоящий из бруска *11*, упоров *12*, направляющей трафаретов *14* и планки *15* (рис. 11, *в*), крепят к основанию *1* винтами *16* с резьбой М1,4. Упоры *12* изготовляют из стальной проволоки диаметром 1 мм и плотно запрессовывают в основание *1*. Трафареты для односторонней печати фиксируют съемными штифтами диаметром 1 мм, которые ставят в отверстия *13*. Детали неподвижного упора изготавливают из оргстекла или дюралюминия.

Подвижной зажим (рис. 11, *б*, *г*) состоит из скрепленных между собой планок *17*, *18*, *19*, направляющей *22* и упора *2* с пружиной *21*. Винт *23* фиксирует подвижной зажим в нужном положении. Прокладка *25* защищает поверхность планки *19* от повреждения винтом *23*. Скоба *24* предохраняет прокладку *25* от выпадения. Планка *18* (рис. 11, *д*) имеет на конце пропил для упора *20* и паз для пружины *21*. В планке *17* против паза для пружины *21* делают окно *27*. Планки подвижных зажимов выполняют из оргстекла или дюралюминия. В первом случае их склеивают, а во втором — склепывают. Упоры *20* (рис. 11, *е*) изготовляют из ножовочного полотна толщиной 0,7—0,8 мм. Они должны без заеданий двигаться в пропилах планок *18*. Наружный диаметр пружины *21* берут меньше толщины планок *18*.

Сборку зажима ведут так: в полость планки *18* через окно *27* устанавливают пружину *21*, а в пропил вдвигают упор *20*. Конец пружины одевают на выступ упора и шплинтом *26* фиксируют упор от выпадения. Ход упора должен быть около 3 мм; это позволяет вынимать и ставить плату при переворачивании, не передвигая планок. Верхнюю планку направляющей *22* выполняют из стали, а боковые опоры из оргстекла или дюралюминия. Прокладки *25* изготовляют из ножовочного полотна и припаивают к скобам *24*, которые сгибают из полосок белой жести.

Подвижной держатель пера (рис. 11, *з*) состоит из рычагов *6* и *8*, соединенных шарниром *7*. Подшипник *5* обеспечивает возможность вращения рычага *6* в горизонтальной плоскости, а шарнир из винтов *3* (*В—В*) — поворот его на некоторый угол при подъеме пера. Ограничитель *4* фиксирует параллельность плоскости движения рычагов *6* и *8* основанию *1*. Это обеспечивает перпендикулярное положение пера *9* к плате в любой ее точке. На свободном конце рычага *8* укреплены перо *9* и рукоятка *10*, имеющая вертикальную ось вращения. Шариковые подшипники шарниров *5*, *7* и рукоятки *10* обеспечивают легкое и плавное вращение, их диаметр 7—10 мм. Рычаги *6* и *8* изготовляют из стальных прутков или латунных трубок диаметром 3—4 мм. На обоих концах рычага *6* делают пропилы, в которых крепят плоские фланцы, изготовленные из дюралюминиевых, стальных или латунных пластин толщиной 1 мм. При креплении фланцев в дополнение к клепке используют эпоксидный клей или пайку. Подшипники шарнира *7* собирают по рис. 11, *ж*. На другом конце рычага делают утолщение — на него одевают и крепят пайкой (или клеем) отрезок

А-А

Б-Б

Повернуто

Положение платы

а)

б)

в)

г)

д)

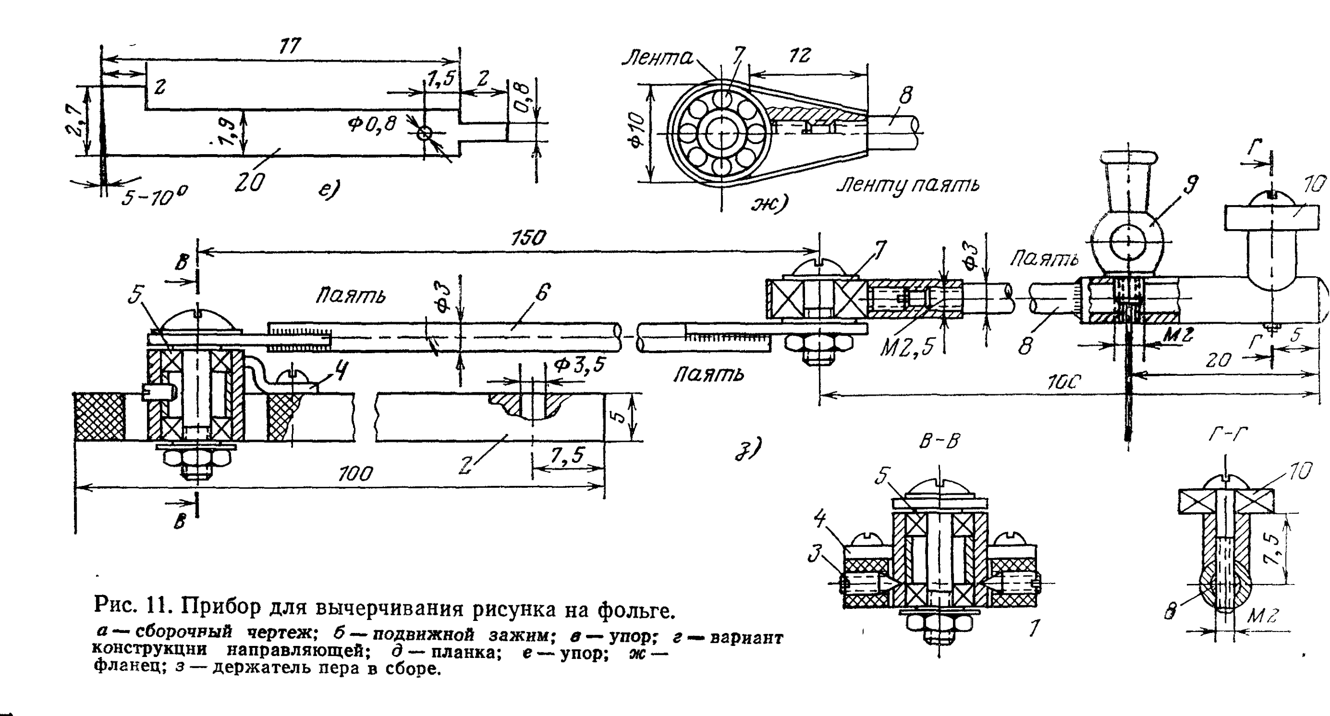


Рис. 11. Прибор для вычерчивания рисунка на фольге.

а — сборочный чертеж; *б* — подвижной зажим; *в* — упор; *г* — вариант конструкции направляющей; *д* — планка; *е* — упор; *ж* — фланец; *з* — держатель пера в сборе.

трубки с наружным диаметром 5—6 мм. Для установки пера *9* и рукоятки *10* в утолщении сверлят отверстия и в них нарезают резьбу М2 (рис. 11, *з*). Инъекционную иглу для пера укорачивают до 10—12 мм и конец тщательно шлифуют. Точную длину пера с допуском ±0,5 мм устанавливают после сборки прибора по параллельности рычагов *7* и *8* основанию *1*. Нижнюю часть наконечника иглы стачивают до диаметра 2 мм и в ней нарезают резьбу (см. рис. 10). Иглы диаметром менее 0,6 мм очень гибки, и это затрудняет процесс черчения. Поэтому тонкие перья делают составными (см. рис. 10, *а*).

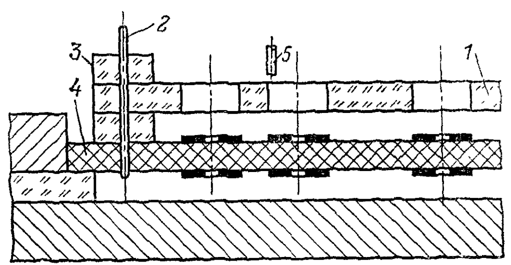


Рис. 12. Приспособление для изготовления печатных плат с двусторонним фольгированием.

Для этого подбирают иглу с отверстием такого диаметра, в которое плотно входит тонкая. Толстую иглу укорачивают так, чтобы выступающий отрезок тонкой иглы был равен 3,5—4 мм. Если затруднительно сделать запрессовку, то иглы склеивают эпоксидным клеем. Длину отрезка тонкой иглы берут не более 7—8 мм. Составное перо, кроме повышенной прочности, лучше подает краску, что облегчает выполнение сложных рисунков печатных плат.

Конец иглы шлифуют в чертежном приборе при рабочем положении пера и рычагов. Сначала его обрабатывают на мелкозернистой наждачной бумаге, затем шлифуют на матовом стекле и окончательно притирают на шлифованной стальной поверхности (например, на лезвии от безопасной бритвы). Качество шлифовки проверяют по отсутствию царапин на фольге.

Кронштейн *2* (рис. 11, *а*, *з*) изготовляют из оргстекла или дюралюминия. Конусные концы винтов М2 (*3*) входят в боковые отверстия втулки подшипников шарнира *5* (*В — В*). Упор *4* сгибают из полоски латуни толщиной 1 мм и закрепляют на кронштейне *2* винтами М2. Кронштейн крепят к основанию винтами М3. Вспомогательные узлы приспособления состоят из подвижного упора *28* с прижимами *29* и держателя платы *30* для проб с гнездом для пера. Диаметр пера должен быть таким, чтобы при вычерчивании контактной площадки в ее центре оставался не залитый краской кружок диаметром 0,2—0,5 мм. Для шага 2,5 мм оптимальный диаметр иглы 0,5—0,6 мм. Если диаметр пера больше диаметра просверленных отверстий в трафарете для нанесения точек перегиба, то их рассверливают.

Особенности выполнения рисунка проводников на плате с двусторонним фольгированием. При двусторонней печати для обеспечения соосности контактных площадок используют специальную кон-

струкцию трафарета. Положение трафарета фиксируют штифты *2* (рис. 12) из твердой проволоки диаметром 1 мм, несимметричное расположение которых обеспечивает его однозначную ориентацию на плате. Для удобства работы штифты закрепляют на трафарете *1*. На штифты *2* напаивают кольца из двух витков медной проволоки диаметром 0,3—0,4 мм, предотвращающие их выпадение.

На рис. 12 показано нанесение контактных площадок через отверстия трафарета *1* иглой *5* на фольгу второй стороны платы *4*. Эти контактные площадки хорошо совпадают с ранее нанесенными площадками на первой стороне, так как трафарет после переворачивания платы вновь фиксируется штифтами в тех же ее отверстиях. При таком методе неточность изготовления трафарета на соосность контактных площадок не влияет. Трафареты для двусторонней печати размечают, кернят и сверлят так же, как и для односторонней. Расположение отверстий в трафаретах и плитах под штифты надо выдерживать с достаточной точностью.

4. НАНЕСЕНИЕ РИСУНКА ПЕЧАТНЫХ ПРОВОДНИКОВ

Рисунок печатных проводников наносят на фольгу кислотоупорной смесью, состоящей из 70—90% асфальтобитумного лака и 10—30% черной типографской краски. Можно использовать и другие асфальтовые или битумные лаки, приготовленные на скипидаре (бензин и другие растворители быстро сохнут и забивают перо). Смесь готовят порциями по 3—5 мл; одной заправки иглы достаточно для вычерчивания более 1000 контактных площадок.

Хранить смесь надо в небольшом флаконе с широкой горловиной с полиэтиленовой пробкой и навинчивающимся колпачком. Если оклеить стык флакона и колпачка липкой лентой, то смесь сохраняет свои свойства в течение 1—2 лет.

Для обезжиривания фольги, смывания краски с плат после травления фольги и промывания иглы применяют бензин или ацетон. При окончательной обработке платы рекомендуется применять спирт-ректификат (2—3 капли на 1 дм^2).

Для травления фольги применяют раствор хлорного железа плотностью 1,3—1,35. Он хорошо сохраняется в закупоренных бутылках. Частично истощенный раствор нельзя смешивать со свежим. Плотность раствора определяют ареометром. Если его нет, то раствор нужной плотности получают так: в стакан объемом 200 см^3 кладут 150 г хлорного железа и заливают до краев водой [11]. Для предотвращения образования нерастворимых осадков в раствор добавляют до 5% соляной кислоты.

Размер заготовки односторонней платы должен быть на 1—1,5 мм больше заданных размеров, а двусторонней — на 1,5—2 мм шире трафарета. Фольга заготовок не должна иметь грубых царапин и вмятин. Края заготовки зачищают напильником от заусениц. На заготовках плат для двусторонней печати запиливают ключи и в кондукторе сверлят отверстия под штифты трафаретов. Фольгу заготовки обезжиривают, протирая ватными тампонами, смоченными бензином или ацетоном, а потом спиртом. С начала обезжиривания до вытравливания платы ее можно брать руками только за края. В местах касания рукой обезжиренной фольги проводники при травлении будут повреждены. Поэтому такое место вновь протирают

спиртом. Обезжиренную заготовку ставят в чертежный прибор и закрывают трафаретом.

Приготовленную краску тщательно перемешивают концом жесткой проволоки диаметром около 1 мм и оставшейся на нем краской заправляют перо.

Густоту смеси находят опытным путем, исходя из следующего. Налитая в наконечники смесь не должна вытекать; в иглу ее вводят тонкой упругой проволокой диаметром чуть меньше канала иглы. Для удобства работы на один конец проволоки напаивают рукоятку — спираль из тонкой проволоки. Нормальной считают краску такой густоты, при которой на фольге можно начертить линию любой длины, на конце пера не образуется капля и краска по фольге не растекается.

Густую краску разбавляют скипидаром, добавляя ее малыми порциями в наконечник иглы. Это удобно делать пинцетом с узкими концами: их окунают в жидкость и, регулируя степень сжатия и отбирая жидкость на ватный тампон, получают нужную дозу. При разжатии губок жидкость стекает в наконечник иглы. Краску в нем перемешивают проволокой диаметром 0,4—0,5 мм с загнутым на конце кольцом, вращая ее между пальцами.

При перерывах в работе перо ставят на кусочек резины. Оставлять краску в пере на большой срок нельзя — засохшую смесь трудно счищать.

Подобрав густоту краски, чертят контактные площадки. На плату, зажатую в приспособлении, ставят основной трафарет и, опуская перо в соответствующие отверстия, чертят кружки контактных площадок. Если густота краски нормальная и диаметр иглы выбран правильно, то в центре площадки должен оставаться не залитый краской кружок фольги диаметром 0,3—0,5 мм. При недостаточно густой краске кружок начинает затекать после одной-двух обводок. При нормальной густоте центральный кружок остается и после четырех обводок. Поэтому одну площадку обводят 2—4 раза, одну обводку делают в обратную сторону. Отрывают иглу в конце обводки плавно по спирали.

На наружной кромке пера скапливается краска, которая пачкает трафарет и собирает пыль. Попадая на фольгу, пыль размазывает краску. Поэтому иглу периодически надо протирать сверху вниз ватой или бумагой.

Вычерченные площадки могут иметь дефекты — не залитые краской участки линии. Их причина в плохой шлифовке иглы и наличии люфта рычажного механизма. Поэтому после нанесения всех площадок рисунок просматривают в лупу с 4—6-кратным увеличением и замеченные дефекты устраняют повторным подкрашиванием. При закрашивании дефекта перо опускают 2—3 раза с небольшими смещениями. Этот прием обеспечивает качественное вычерчивание линий. Суть его в том, что любую линию (окружность или прямую) проводят дважды: первый раз при непрерывном касании фольги пером, второй — точками, часто поставленными по всей ее длине. Этот метод позволяет получить высокое качество рисунка особо сложных схем с очень тонкими и длинными линиями, а также использовать краску в большем интервале густоты.

Если на плате нужно иметь контактные площадки иного размера, то их пропускают и делают по другим трафаретам. Линии проводников вычерчивают, пользуясь линейным трафаретом (см. рис. 9).

Вычертив все линии, поверхности оставляемой на плате фольги заливают печным лаком.

Лак наносят мягкой кисточкой ровным слоем, без просветов. Малые поверхности (ламели, площадки и др.) заливают пером при вычерчивании. Готовый рисунок платы тщательно просматривают через 4—6-кратную лупу, устраняют дефекты подкраской и очищают центральные кружки площадок, залитые специально или по небрежности. Это делают концом заточенной спички, которую, вращая, опускают торцом на фольгу через нужное отверстие трафарета. Так же очищают центры отверстий на остающейся фольге. Если плата двусторонняя, ее переворачивают и наносят рисунок на вторую сторону в том же порядке. Ориентируют рисунок по ключу, запиленному на плате.

5. ТРАВЛЕНИЕ

Травление платы с оригиналом рисунка можно производить в фарфоровой, стеклянной или пластмассовой посуде. Удобны для этой цели пластмассовые фотокюветы (ванночки). Для травления обычно используют раствор хлорного железа.

Рисунок, выполненный типографской краской, перед травлением сушат 10 мин при температуре 110° С. Плату помещают в ванночку и заливают раствором хлорного железа. Для ускорения процесса травления раствор перемешивают, покачивая ванночку. Делают это вручную либо применяя микродвигатель с червячным редуктором, выходной вал которого имеет частоту вращения 5—10 об/мин. После стравливания фольги с пробельных мест плату промывают в проточной воде и сушат.

При травлении двусторонней платы нижнюю ее сторону надо защитить от соприкосновения с дном ванночки. Для этого применяют кассеты.

Кассета для плат одной ширины (рис. 13, *а*) состоит из двух планок *1* с приклеенными к ним опорными планками *4* и поперечными планками *3*. Края планок *4* можно выполнить различно (рис. 13, *б*). В планках *3* сделаны отверстия, дающие доступ раствору к фольге. Плату от выпадения удерживает резиновое кольцо *2*. Кассету изготовляют из органического стекла, полистирола или целлулоида. Раздвижная кассета (рис. 14, *а*) пригодна для травления плат шириной до 100—120 мм. Одна из ее боковых планок *1* подвижная, ее положение фиксируют упоры *4* и резиновые кольца *5*, которые на планках *3* держат зубцы *6* (рис. 14, *б*). Плату в кассете удерживает кольцо *7* из резины. К недостаткам этих кассет надо отнести потребность в большом объеме раствора хлорного железа. Раствор этот можно использовать вторично, но скорость травления падает. Его активность повышают добавлением в него до 30% крепкой соляной кислоты. Хорошие результаты по скорости травления и расходу раствора дает вертикальная кювета для травления печатных плат (рис. 15). Ее узкие боковые стенки имеют пазы, по которым в нее опускают плату. Она может быть одно- или двусторонней (односторонних можно брать две, сложив их фольгой наружу). Пазы удерживают плату в среднем положении между стенками, предохраняя ее от смазывания рисунка и обеспечивая хорошее перемешивание раствора. Оно осуществляется пузырьками воздуха, который подают от аквариум-

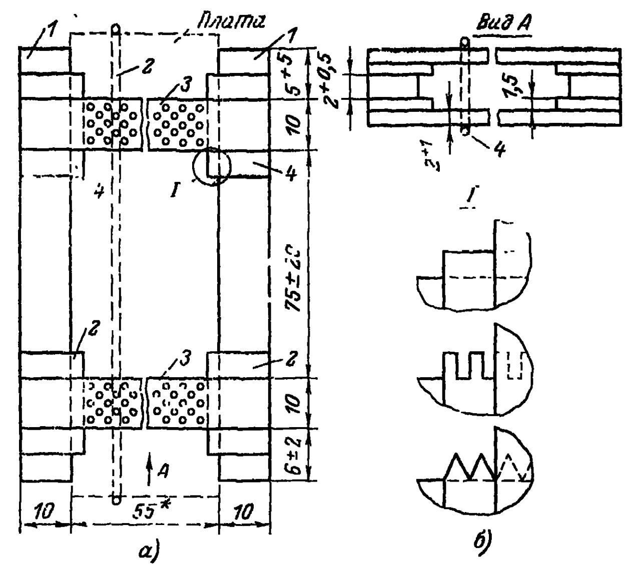


Рис. 13. Конструкция кассеты для плат одной ширины.

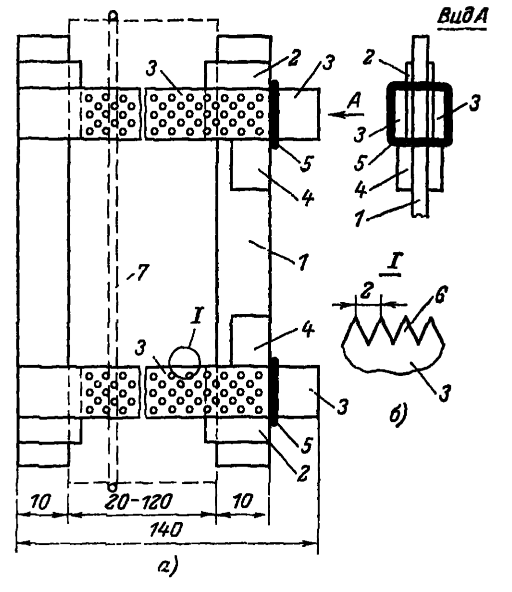


Рис. 14. Конструкция раздвижной кассеты.

ного микрокомпрессора. В кювету он поступает снизу через ряд отверстий. Движение воздушных пузырьков интенсивно перемешивает раствор и хорошо удаляет с фольги продукты реакции, а кислород воздуха за счет реоксидации Fe^{+2} и Cu^{+1} до Fe^{+3} и Cu^{+2} значительно увеличивает скорость травления. Например, двустороннюю плату размером 55×145 мм с фольгой толщиной 50 мкм при температуре 20° С травят в такой кювете 10—15 мин. Расход раствора 75—80 мл. Кювету изготовляют из оргстекла или другого пластика. Каждую из узких боковых стенок сосуда склеивают из трех полос толщиной 3—3,5 или двух полос толщиной 4,5—5 мм (рис. 15, *а б*). Так удобнее

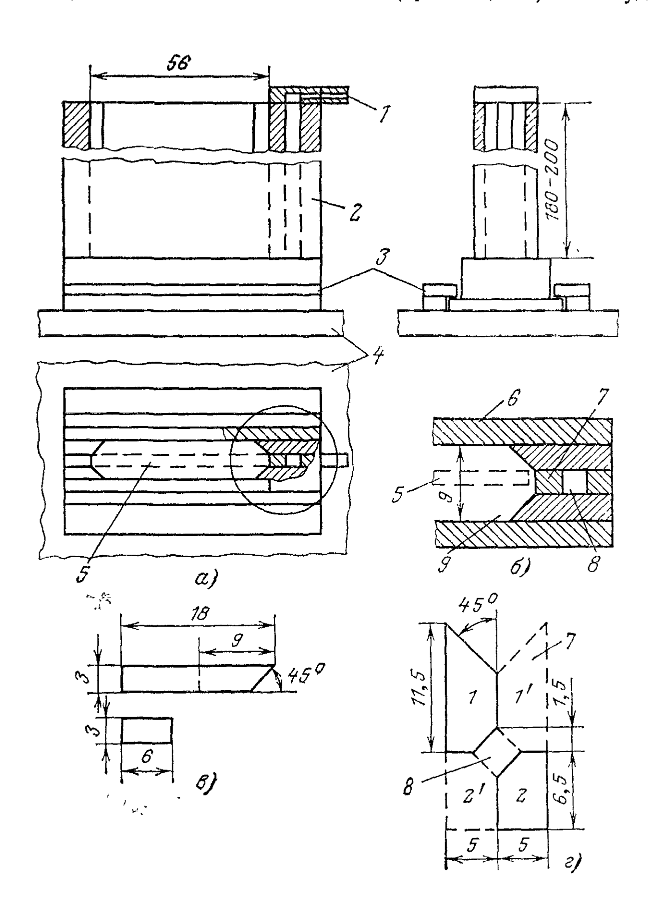


Рис. 15. Конструкция вертикальной кюветы для травления печатных плат.

1 — штуцер; *2* — кювета; *3* — держатель; *4* — подставка; *5* — плата; *6* — широкая боковая стенка; *7* — узкая боковая стенка; *8* — воздушный канал; *9* — полость кюветы.

делать в них паз и канал для воздуха. Штуцер для шланга от компрессора делают в верхней части кюветы. Это защищает компрессор от попадания раствора при его остановке. С одной стороны широких планок толщиной 3 мм делают скос под углом 45° (рис. 15, *в*). На заготовках толщиной 5 мм скосы у части планок делают с двух сторон (рис. 15, *г*). Склеивание оргстекла ведут 1%-ным раствором органического стекла в дихлорэтане или 0,5%-ным раствором в смеси, состоящей из 60% ацетона и 40% уксусной эссенции.

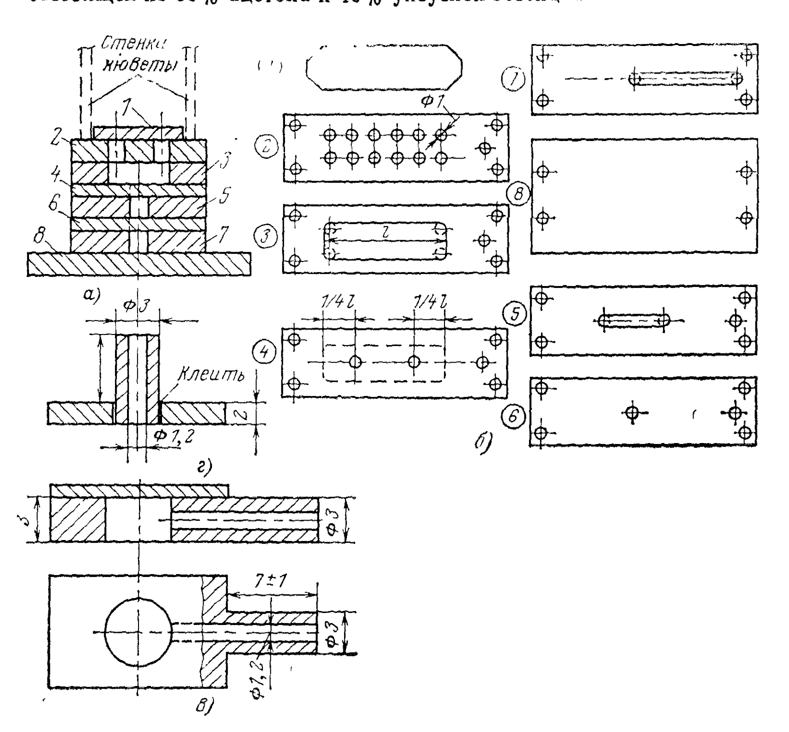


Рис. 16. Дно кюветы в сборе (*а*), его детали (*б*) и варианты расположения штуцеров (*в, г*).

Для склеивания полистирола используют его 10%-ный раствор в бензоле, толуоле или дихлорэтане [10]. Склеенные полоски плотно сжимают струбцинами или тисками и дают клею высохнуть. При склеивании полос толщиной 3 мм в воздушный канал вставляют стержень диаметром 2,5 мм. Высохшие заготовки узких стенок склеивают с широкими, изготовленными из материала толщиной 1,5—3 мм. Внутрь сосуда вставляют плату нужной ширины, стенки со стороны дна выравнивают и все стягивают струбцинами. Плоскость для приклейки дна зачищают наждачной бумагой. Чтобы поступление воздуха было равномерным, дно кюветы делают сборным из планок толщиной 1—3 мм (рис. 16, *а*). Планки *1, 2, 4, 6* должны иметь

толщину 1—1,5 мм, а планки *3*, *5*, *7*, *8* — 1,5—3 мм. Планку *1* (рис. 16, *б*) опиливают точно по размеру окна кюветы. Остальные планки скрепляют в пакет и по углам сверлят отверстия для штифтов. На планку *2* наносят осевую линию и линии внутренних сторон кюветы, затем размечают сетку отверстий. Их сверлят сверлом диаметром 1 мм одновременно в планках *2* и *3*. В планке *3* по этим отверстиям выпиливают полость камеры. Перенося ее контуры на планку *4*, размечают отверстия. Их сверлят одновременно в планках

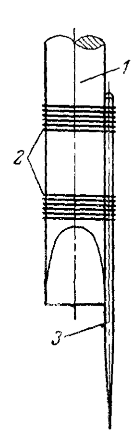


Рис. 17. Приспособление для пробивания отверстий в пластинах из органического стекла.

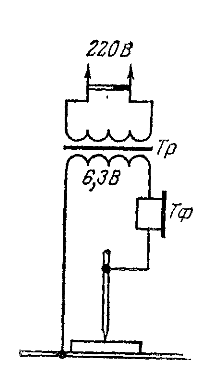


Рис. 18. Принципиальная схема сигнализации при пробивке отверстий.

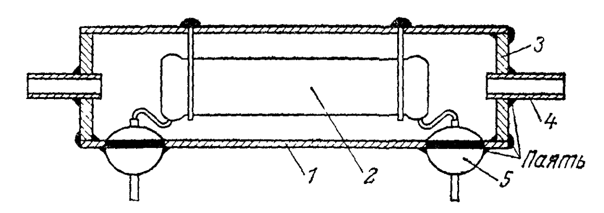


Рис. 19. Конструкция нагревателя воздуха.

4 и *5*. В планке *5* пропиливают канал, а в середине планок *6* и *7* сверлят отверстия. При операциях переноса и совместного сверления планки скрепляют штифтами.

Планку *1* приклеивают к планке *2* (рис. 16, *а*) и, прижав к кювете, отмечают центр отверстия воздушного канала, которое сверлят сразу во всех планках. В планке *7* пропиливают паз. Диаметр отверстия в планке *1* должен быть не более 0,1 мм. Отверстия пробивают тонкой нагретой иглой *3*, укрепленной бандажами *2* к жалу паяльника *1* (рис. 17), который питают через латр.

Температура иглы должна быть такой, при которой материал пластины размягчается, но не плавится.

Одинаковые отверстия получают, останавливая процесс в момент выхода острия по другую сторону пластины. Для фиксации этого момента используют устройство по схеме рис. 18. Один конец понижающей обмотки трансформатора *Тр* соединяют со стальной пластиной (например, со слесарной линейной), а другой через телефон *Тф* с иглой на паяльнике. В момент выхода конца иглы из пластины он касается линейки, и в телефоне слышен звук. При пробивке отверстий паяльник поворачивают вокруг оси. После сборки дна отверстия надо вскрыть. Склейку дна ведут на штифтах в порядке, обратном их номерам. В отверстие воздушного канала плотно вставляют трубку и дно помещают в воду. В трубку подают воздух от компрессора и мелкой наждачной бумагой зачищают поверхность пластины *1*, вскрывая тем самым отверстия. Выходящие из них пузырьки должны быть мелкими и одинаковыми. После этого дно приклеивают к кювете и вклеивают штуцер горизонтально (рис. 16, *в*) или вертикально (рис. 16, *г*).

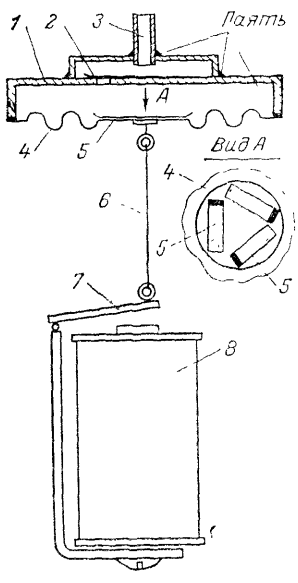


Рис. 20. **Конструкция диффузорного насоса.**

Для ускорения травления перед заливкой в кювету раствор подогревают до 40 °С или подают в нее нагретый воздух. Нагреватель изготовляют из отрезка трубки *1* (рис. 19), в которую вставляют проволочный эмалированный резистор *2* (ПЭ). Провода выводят через стеклянные изоляторы *5*. Концы трубки запаивают крышками *3* со штуцерами *4*. Нагрев регулируют, изменяя напряжение через ЛАТР. После травления кювету тщательно промывают горячей водой и продувают. Можно применить аквариумный микрокомпрессор или самому сделать диффузорный насос (рис. 20). Он состоит из цилиндрической металлической коробки *1* с припаянной к ней диафрагмой *4* из латунной фольги, на которой закреплены три-четыре клапана *5* и шток *6*. Тяговое усилие создает якорь *7* электромагнита *8*, который питают прерывистым током через однофазный выпрямитель или электронный прерыватель [10]. Воздух отводят через впаянный в коробку штуцер *3*. Этот насос работает лучше с приводом на диффузор от электродвигателя с редуктором и кривошипным механизмом. С вытравленной, промытой и высушенной платы можно снять зеркальный отпечаток монтажа: плату подогревают над газовой горелкой, кладут на рисунок бумагу, плотно ее прижимают, приглаживают рукой и снимают с платы.

Краску с платы смывают бензином, скипидаром или ацетоном. После этого фольгу зачищают мелкой наждачной бумагой (можно применять наждачный порошок, тертый кирпич, золу); промывают

щеткой с мылом в горячей воде и проверяют качество печати, учитывая, что допустимо уменьшение ширины проводников на 40% и площади контактных площадок на 30%. В любительских условиях большие дефекты можно исправлять. Печатные проводники, стравленные на прямых участках, восстанавливают напайкой нескольких тонких проволочек. Возможность исправления проводников зависит от их формы и наличия остатков фольги для опорных паек

6. ПОДГОТОВКА ПЛАТЫ К СБОРКЕ

Вытравленную заготовку платы обрезают до нужного размера. Для этого плату зажимают в приспособление из двух стальных уголков, которые стягивают винтами [54]. Фольгу защищают от повреждений прокладкой из бумаги. Отпиливание в таком приспособлении делают без припуска. Края платы зачищают и снимают фаски напильником или наждачной бумагой, расположенной на ровной поверхности. При работе со стеклотекстолитом последний способ лучше (напильники быстро тупятся). Если выводы деталей имеют диаметр до 0,5 мм, в контактных площадках платы сверлят отверстия диаметром 0,6—0,7 мм, ориентируясь по вытравленным в центре площадок углублениям. В местах, где ставят детали с большим диаметром или размещают не один вывод, отверстия рассверливают до требуемого размера. Диаметр отверстия, равный $1/3$ диаметра d контактной площадки, является нормальным, а $1/2$ d — предельно допустимым.

Двустороннюю плату сверлят в два приема. Сначала засверливают площадки лицевой стороны платы сверлом диаметром 0,7—0,8 мм на глубину 0,5—1 мм, а затем сверлом 0,6—0,7 мм сверлят площадки со стороны пайки. Это предотвращает отрыв фольги в местах выхода сверла из платы.

При обработке стеклотекстолита сверла сильно тупятся, при входе в фольгу частично развальцовывают ее, а на выходе из платы разрывают ткань — края получаются неровные. Поэтому при сверлении таких плат сверла надо чаще затачивать. Заточку делают под углом 70—40° (в зависимости от материала сверла).

Развальцованную на краях отверстий фольгу после сверления прикатывают хвостовиком толстого сверла, а затем острым сверлом диаметром 2—2,5 мм без нажима снимают фаску. Заусеницы с материала платы снимают тем же сверлом, но с легким нажимом. Контактные площадки залуживают паяльником с применением спиртового раствора канифоли, флюса ЛТИ-120 и другого припоя ПОС-61 или «третника». Паяльник мощностью 40—50 Вт. Перегрев жала не допустим. Поэтому паяльник питают через ЛАТР или другой регулятор. Время лужения одной площадки не более 2—3 с. После залуживания площадок плату промывают бензином, ацетоном или горячей водой и сушат.

Когда контактная площадка для пайки вывода конденсатора типа К50-6 служит переходной (печать двусторонняя), то под конденсатор кладут изоляционную шайбу толщиной 0,5—0,6 мм.

7. ПАЙКА ПЕЧАТНОГО МОНТАЖА

Качество пайки печатного монтажа определяет надежность РЭА. Производить пайку перегретым паяльником недопустимо. Несоблюдение этого правила приводит к отслаиванию контактных пло-

щадок. Время пайки должно быть минимальным. Его увеличение более 3 с снижает прочность приклейки фольги. Большое значение имеют флюс и чистота поверхностей в месте пайки — отсутствие окислов или жировой пленки. Имеют значение диаметр вывода и высота его выступания над печатным проводником. Оптимальная высота вывода детали над контактной площадкой равна 0,3—0,5 мм. Пайка должна иметь правильную сферическую форму и поверхность без пористости, загрязнений, наплывов и острых выпуклостей. Припой должен заливать место соединения со всех сторон, заполняя щели и зазоры между выводом детали и контактной площадкой. Конец вывода детали также не должен выступать над припоем. Хорошую пайку получают при следующих условиях: а) жало паяльника очищено и хорошо облужено; б) количество флюса на месте пайки минимально, и он не растекается за ее пределы; в) время пайки не более 1,5—2 с; г) жало паяльника нагрето до температуры, при которой припой быстро плавится (но не скатывается с жала), а канифоль сгорает не мгновенно, а остается на жале в виде кипящих капелек. Количество припоя на жале должно быть достаточным для выполнения одной нормальной пайки.

Показателем правильной длительности пайки служит неполное выкипание флюса. При этом получается пайка правильной сферической формы с чистой поверхностью. Для пайки применяют электрический паяльник мощностью 40—50 Вт. Имеющиеся в продаже паяльники не рассчитаны для работы с печатным монтажом, температура нагрева их жала более 300° С. Поэтому целесообразно паяльник питать через ЛАТР или регулятор напряжения. Требуемая температура большинства маломощных паяльников получается при напряжении 140—190 В.

Для хорошего качества пайки важное значение имеет правильная заточка жала паяльника. Заточка, выполненная, как показано на рис. 21, обеспечивает равномерное нагревание вывода детали и контактной площадки. В канавку на конце жала свободно входит канифоль, и из нее легко удалять нагар и излишки припоя. Заточенная на узкой части жала рабочая часть имеет форму трапеции. Канавку на рабочей части жала и подкосе запиливают трехгранным надфилем.

После заточки паяльник включают в сеть и облуживают его рабочую часть и подкос.

Хорошие результаты дает применение сменных никелированных жал, которыми комплектуют паяльники марки ПСН-40. Они служат значительно дольше обычных, и на них не появляется окалина. Многие радиолюбители применяют при работе с печатным монтажом миниатюрные паяльники типа ПСН-25 с никелированным сменным жалом (рабочее напряжение 36 В, мощность 25 Вт, диаметр жала 4 мм). Для хорошего качества пайки существенное значение имеет также малая разница температур рабочей части жала до и при пайке, так как при снижении температуры ниже определенной ухудшается текучесть припоя и хорошую пайку получить не удается. В начале пайки температура стыка зависит от соотношения масс рабочей части жала и вывода детали. Дальнейший ход процесса пайки зависит от притока к жалу тепла от нагревателя и от отвода его деталью. Процесс пайки печатного монтажа протекает быстро, и притоком тепла можно пренебречь. Наилучшие условия пайки припоем ПОС-61 получаются при температуре 220—240° С. При максимальном диаметре медного вывода детали 1 мм нормальные условия пай-

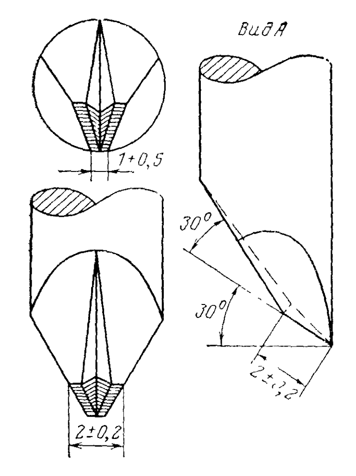


Рис. 21. Заточка жала паяльника.

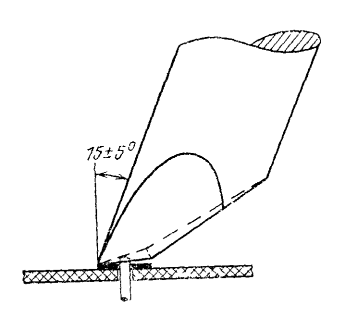


Рис. 22. Положение жала паяльника при пайке вывода радиодетали к контактной площадке.

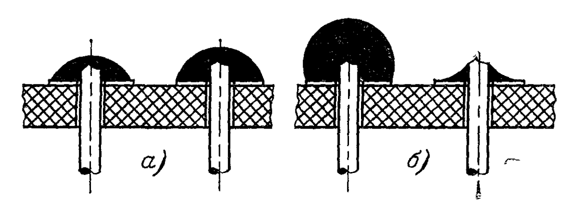


Рис. 23. Формы паек в разрезе.

а — правильно; *б* — неправильно.

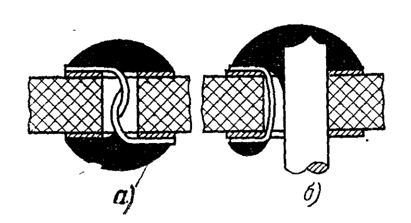


Рис. 24. Соединение контактных площадок, расположенных на двух сторонах платы.

а — в специальных площадках; *б* — совместно с деталью.

ки обеспечиваются при диаметре жала паяльника более 3 мм. Паяльники с диаметром жала 1—1,5 мм применяют при работе со сверхминиатюрными деталями. Пайку ведут с применением тех же флюсов, что и облуживание контактных площадок. Правильное положение жала паяльника при пайке показано на рис. 22, а формы паек в разрезе — на рис. 23, *а*, *б*. Для перехода с одной стороны платы на другую между контактными площадками (рис. 24, *а*, *б*) делают перемычки из проволочек диаметром 0,07—0,12 мм. Их положение в отверстии специальной площадки (рис. 24, *а*) произвольное. При совмещенном переходе (рис. 24, *б*) иногда приходится диаметр отверстия увеличивать на 0,1—0,15 мм. Такие перемычки предварительно подпаивают к площадкам, при этом отверстие в плате не должно заливаться. Излишние концы перемычек срезают скальпелем.

По окончании монтажа плату тщательно очищают от остатков флюса, протирая с обеих сторон ватными тампонами, смоченными растворителем или спиртом. Для предохранения проводников монтажа от окисления готовую плату со стороны паек рекомендуется покрыть спиртовым раствором канифоли или лаком.

Глава вторая

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

8. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Приступая к разработке конструкции на модулях, радиолюбитель может ставить задачу: создать наиболее удобную конструкцию для дальнейшей ее модернизации либо обладающую при заданных характеристиках наименьшим объемом или массой. Предположим, что радиолюбитель хочет разработать модульную конструкцию легко налаживаемого транзисторного приемника прямого усиления с учетом возможности его дальнейшего постепенного усовершенствования. Разместить его предполагается в покупном корпусе (от заводского приемника) и питать от батареи 3336Л.

Расположение и конструкция выводов модулей зависят от способа их установки на общей монтажной плате. При плоском размещении выводы для удобства сборки располагают по периметру. При вертикальной установке модуля выводы делают с одной стороны платы; число их зависит от длины платы и принятого шага. При такой установке модулей нужна дополнительная их фиксация. При выборе вида модулей, их монтажа и методов установки следует исходить из следующих соображений.

1. Плоский монтаж модулей целесообразен для устройств с малым числом мелких деталей. При наличии крупных деталей вертикальный монтаж более рационален.

2. При плоской установке модулей возможны наибольшее удаление входа и выхода схемы и упрощение рисунка сборочной платы за счет применения модулей в виде мостиков. Часто это позволяет делать сборочную плату односторонней.

3. При использовании в модулях контуров обычной конструкции лучше применять плоское их расположение.

4. Вертикальное размещение модулей с плоским и вертикальным монтажом рационально также при установке совместно с крупными деталями такой же высоты (реле, конденсаторы К50-6 и др.).

5. При потреблении отдельными модулями значительных мощностей (усилители мощности) их располагают так, чтобы обеспечить циркуляцию воздуха.

6. Установку объемного модуля с вертикальным расположением плат применяют при использовании в них крупных деталей (например, бумажных конденсаторов), необходимости максимально разнести вход и выход модуля или уменьшить общую высоту монтажа.

9. МАКЕТИРОВАНИЕ

Макетирование служит для экспериментальной проверки правильности выбранного варианта. Макетировать можно по-разному. Иногда собирают на столе «летучую схему» или макетируют на плате из гетинакса, текстолита, фанеры или картона (рис. 25, *а*) [24—26].

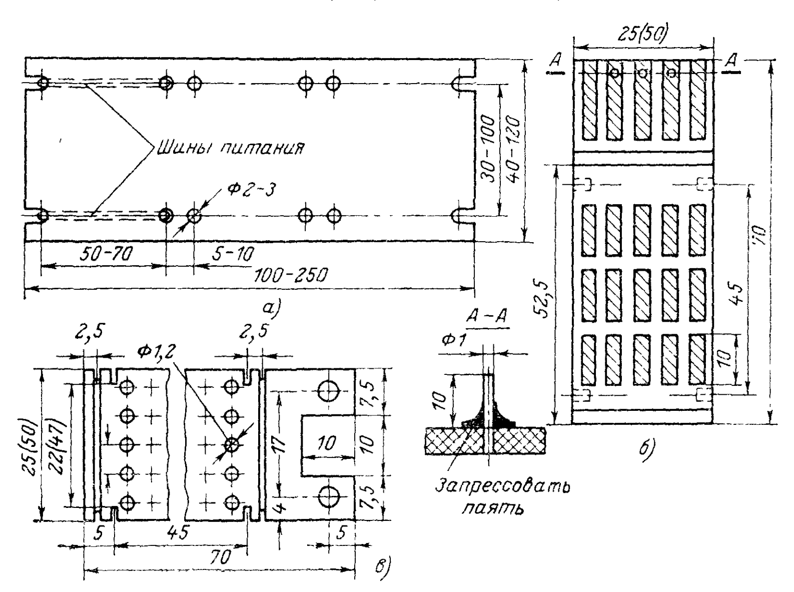


Рис. 25. Макетные платы с шинами питания из медной проволоки (*а*), с печатными проводниками (*б*) и съемными скобами (*в*).

Шины питания изготовляют из медного луженого провода диаметром 0,8—1,5 мм. Для его крепления у краев платы сверлят отверстия, концы провода снизу загибают. Снизу к плате приклеивают 4—6 резиновых ножек; они не дадут плате скользить по столу. На такой макетной плате производят монтаж, спаивая концы деталей между собой и с шинами питания. При экспериментальной обработке модульных конструкций рекомендуется и макет строить по модульному принципу. Собирая схему на нескольких малых платах,

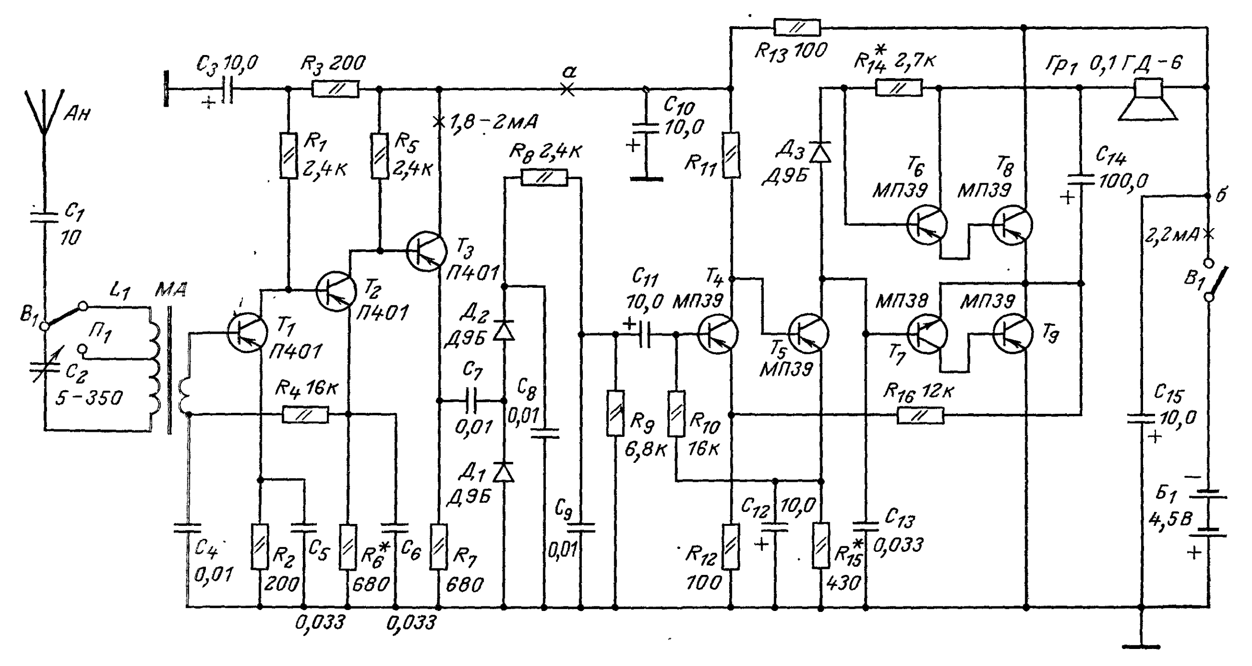


Рис. 26. Принципиальная схема радиоприемника прямого усиления.

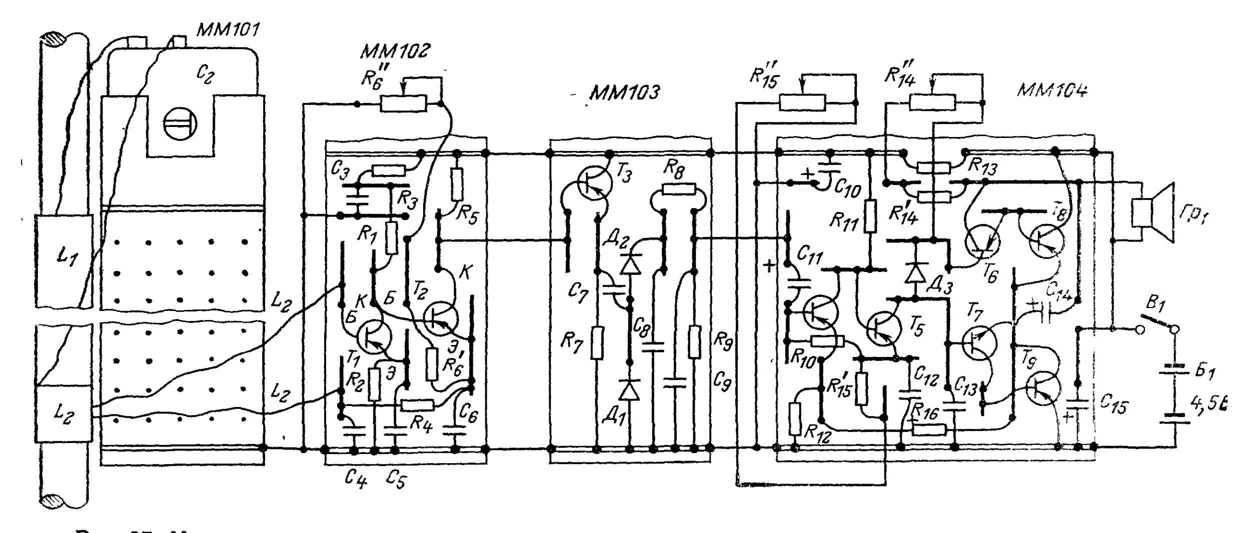


Рис. 27. Монтажная схема радиоприемника с разбивкой на функциональные модули.

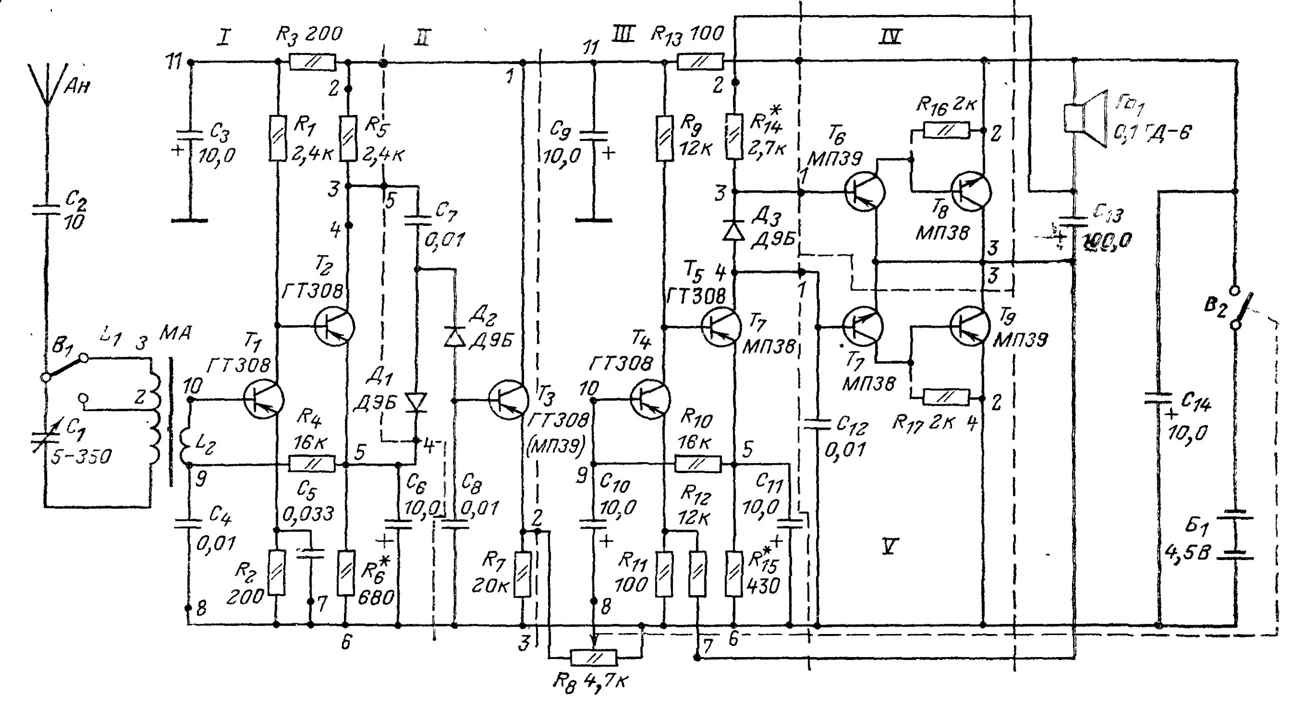


Рис. 28. Вариант принципиальной схемы приемника прямого усиления.

можно быстро менять узлы и сделать монтаж компактным. Для макетирования модулей удобны платы с контактными площадками, изготовленные из фольгированного материала (рис. 25, *б*) [27]. На таких платах рекомендуется работать с низкотемпературными припоями ПОСВ-33 (олово — 33%, свинец — 33%, висмут — 34%) или ПОСК-50 (олово — 50%, свииец — 33%, кадмий — 17%). Их температуры плавления 130 и 145° С соответственно [10]. Лудят платы с применением хлористого цинка или другого активного флюса. После лужения платы моют щеткой в горячей воде. Макетные платы можно делать из гетинакса или иного диэлектрика, используя съемные скобы. Для установки скоб в плате делают отверстия с шагом 5 мм (рис. 25, *в*). Для изготовления шин и скоб пригоден медный провод диаметром 0,8—1 мм или жгут, свитый из 3—4 проволок диаметром 0,3—0,4 мм и хорошо залуженный.

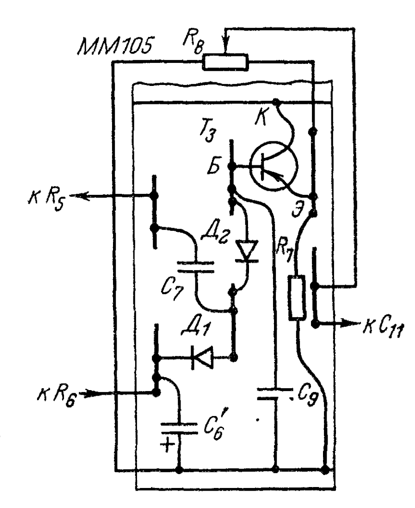


Рис. 29. Монтажная схема детектора и входного эмиттерного повторителя УНЧ.

Удобны скобы плоского сечения, изготовленные из полосок латуни толщиной 0,25—0,35 и шириной 0,8—1 мм. При необходимости вместе с припаянными к ним деталями их переносят на другой ряд отверстий. На платах постоянно закреплены только две шины питания.

Платы шириной 25 мм применяют при малом числе элементов. На платах шириной 50 м монтируют модули с числом транзисторов до 6—8.

Для примера рассмотрим разбивку на функциональные модули приемника по схеме на рис. 26 [5]. Монтажные схемы этих модулей показаны на рис. 27. Макетным модулям присвоены следующие условные обозначения: ММ101 — ферритовая антенна и переменный конденсатор C_1; ММ102 — усилитель ВЧ (T_1, T_2); ММ103 — эмиттерный повторитель и детектор (T_3, $Д_1$, $Д_2$) и ММ104 — усилитель НЧ (T_4—T_9). Обозначение модуля состоит из названия — макетный модуль (ММ), номера примера (1) и порядкового номера модуля (01). Все варианты модулей получают в дальнейшем очередной порядковый номер.

Сборку и налаживание макета начинают, как обычно, с усилителя НЧ.

На рис. 28 приведена схема приемника, отличающаяся от схемы на рис. 25 тем, что эмиттерный повторитель на транзисторе T_3 перенесен на выход детектора [19, 32] и на диоды последнего подано смещение с резистора R_6 [23]; это увеличивает чувствительность приемника. Кроме того, в приемник введен регулятор усиления (параллельно постоянному резистору R_7 цепи эмиттера транзистора T_3

подключен переменный резистор R_8), и транзистор T_8 в оконечном каскаде применен иной структуры [18, 37]. Практически такое изменение реализуется заменой макетного модуля ММ103 модулем ММ105 (рис. 29) и модуля ММ104 модулем ММ106, собранным по схеме (рис. 28, правая часть).

На макете видно, что все модули получились разные. Однако, если внимательно посмотреть на схему (рис. 28), то можно заметить, что в ней есть однотипные узлы. Это усилители на транзисторах T_1, T_2 и T_4, T_5. Выходной каскад усилителя УНЧ также состоит из двух однотипных узлов на транзисторах T_6, T_8 и T_7, T_9 различной структуры. Последнее позволяет сократить число разновидностей печатных плат модулей, так как однотипные узлы можно выполнить одинаковыми конструктивно. Такой вариант разбивки схемы является наилучшим и позволяет свести к минимуму число разновидностей рисунка печатных плат. Схемы модулей на рис. 28 выделены штриховыми линиями и обозначены римскими цифрами. Пронумерованы также их входы и выходы.

Глава третья

КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДУЛЕЙ

10. МЕТОДЫ КОМПОНОВКИ

После макетирования устройства и разбивки его на модули приступают к их компоновке. Термин этот происходит от латинского слова compone (складывать) и означает размещение элементов конструкции на плоскости или в объеме, их электрическое соединение с учетом вредных взаимосвязей ее частей, удобства настройки, эксплуатации и т. д. При компоновке печатной платы, размеры которой заданы, задача состоит в наиболее рациональном размещении и электрическом соединении деталей внутри ее контура или объема. Когда же требуется возможно более плотное размещение деталей, размеры (объем) платы определяют только после окончательной компоновки.

Модельная компоновка. Радиолюбители применяют при такой компоновке силуэты деталей — аппликации. Аппликации для компоновки устройств с печатным монтажом должны иметь точки крепления (пайки выводов), сопряженные с координатной сеткой платы. Если аппликации изготовляют из бумаги или картона, то на них наносят координатную сетку с шагом, принятым для плат. При выполнении прозрачных аппликаций (калька, целлулоид) наносить сетку не обязательно. Для компоновки используют листы бумаги в клетку (например, из тетради). Для шага 2,5 мм такая сетка имеет масштаб 2 : 1. В таком же масштабе делают и аппликации (рис. 30, *а*). При пользовании прозрачными аппликациями процесс компоновки упрощается.

Одновременно с размещением деталей необходимо делать прикидку их соединений на листе кальки, наложенном на аппликации.

Для закрепления аппликаций на бумаге удобно пользоваться резиновым клеем [9, 25, 33].

Графическую компоновку можно рассматривать как своеобразное моделирование. При этом применяют упрощенные и условные на-

чертания элементов, декалькоманию (сведение изображений на кальку или другие прозрачные материалы), трафареты и другие приспособления [8, 34]. В любительских условиях для графической компоновки печатных плат удобно использовать бумагу в клетку.

Пример такой компоновки показан на рис. 30, *б*. При компоновке используют мягкие карандаши (М—3М), наброски линий делают без нажима. Все элементы нумеруют по принципиальной схеме.

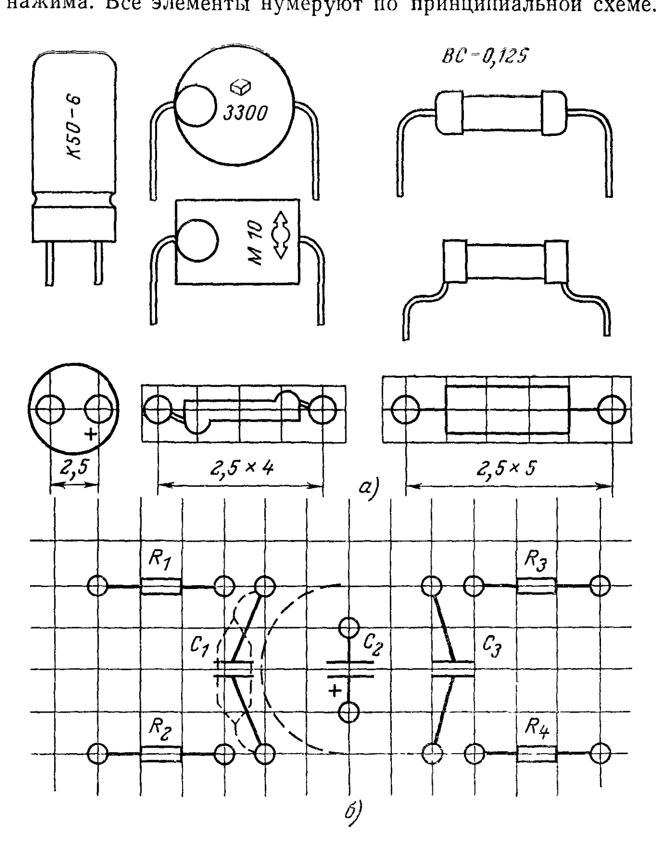


Рис. 30. Примеры выполнения аппликаций (*а*) и графической компоновки (*б*).

Для начинающих радиолюбителей можно рекомендовать еще такой способ: на принципиальную схему накладывают лист кальки, на которой отмечают зачеркиванием все нанесенные на компоновку элементы. Чтобы лист легко можно было совместить со схемой, на нем обводят крайние ее точки (например, вход, выход и др.). Производить отметки на самой схеме не следует — при проработке других вариантов они внесут путаницу, а сама схема станет негодной.

Считают, что к оптимальной компоновке подходят, сделав не менее трех вариантов размещения. Трудные места надо «проигрывать» 4—5 раз. Графический метод в этом отношении имеет два преимущества — наглядность и «память». Если компоновку трудных мест производить постепенно, не стирая удачные варианты, а набрасывая рядом другие, то полученные фрагменты наглядно покажут ход рассуждений, причины ошибок и пути их исправления. При проработке других вариантов их можно использовать целиком или частично. При работе над двусторонней печатью применяют цветные карандаши либо условные начертания линий (проводники другой стороны платы делают штрихом).

Объединение аппликационного и графического методов при проработке небольших участков схемы, мелких узлов или модулей позволяет иметь малое число аппликаций для быстрого «проигрывания» взаимного расположения деталей. Найденное решение переносят на графическую компоновку в виде условных обозначений, точно отмечая только места пайки (крепления) деталей, и прорабатывают варианты их электрического соединения. Если возникает надобность в иной, чем на аппликации, установке деталей, то ее делают графически. Использование бумаги при проработке вариантов компоновки связано с повторной перерисовкой части схемы, особенно при пользовании цветными карандашами. При проработке разводки узлов печатной платы полезны некоторые простые и доступные каждому радиолюбителю приспособления, например пластина светлого не прозрачного пластика (винипласта, органического стекла и др.) с матированными сторонами и процарапанной острой иглой сеткой. Рисунок наносят на пластину карандашом. Его довольно легко стирать, координатная же сетка остается. Однако при удалении линий стираются и детали. Работу по их восстановлению можно сократить, применив при стирании линий пластинки из фотопленки или иного тонкого прозрачного материала с небольшими прорезями различной формы; через последние резинкой удаляют ненужные на рисунке линии. На таких пластинах можно делать и аппликационную проработку узлов.

Другое приспособление — пластина из органического стекла или целлулоида толщиной 1—1,5 мм с матированными мелкой шкуркой обеими сторонами. На одну сторону наносят острой иглой сетку с шагом 5 мм. На такой пластине рисунки деталей и линий соединений выполняют раздельно — на разных ее сторонах. Здесь не надо исправлять рисунок деталей при стирании соединений. Для облегчения вычерчивания деталей используют шаблоны, сделанные в требуемом масштабе на клетчатой бумаге с таким же шагом. На пластину их сводят, выбрав нужное положение. Однако из-за того, что разводку проводников делают на другой стороне пластины, изображения деталей видны перевернутыми. Так же их делают и на шаблоне. Для этого последний рисуют чернилами на кальке. При срисовывании на пластину шаблон переворачивают. Несмотря на этот недостаток, имеется возможность рассматривать монтаж платы с обеих сторон, что дает более полное представление о ее компоновке. На таком приспособлении можно выполнять рисунок и двустороннего печатного монтажа, делая линии разными цветами.

Для большей наглядности рисунок проводников можно наносить со стороны деталей. Так же можно поступать и при выполнении компоновки объемных конструкций. Если такие работы в практике радиолюбителя встречаются часто, то для закрепления кальки необходимо сделать прижимную планку или добавить вторую пластину.

Ее матируют только с одной стороны, а со второй наносят координатную сетку. Пластины складывают сетками, которые должны совпадать, и скрепляют шарнирно в одном из углов. На матовой стороне новой пластины (верхней) рисуют разводку проводников — это сторона пайки; на внутреннюю матовую поверхность первой (нижней) пластины (сторона с сеткой) наносят детали. При двусторонней печати (или объемной конструкции) на наружной стороне нижней пластины делают разводку лицевой стороны платы. При таком порядке размещения рисунков шаблоны для деталей делают обычными — на стороне пайки они видны прямо, а на лицевой — перевернуты, что полностью соответствует действительности. Рисунок печатных проводников, полученный на каждой из наружных сторон, так же точно соответствует рисунку на фольге.

Для работы с более сложными конструкциями делают приспособление из трех пластин, у которых обе стороны матированы. На одну из сторон каждой пластины наносят сетку. Пластины соединяют шарнирно. Рисунок на пленке из полиэтилена можно выполнять шариковыми ручками с разноцветной пастой или фломастерами.

Простейшее приспособление делают из хозяйственного пакета подходящих размеров. На одну из внутренних его сторон шариковой ручкой с зеленой пастой наносят сетку с шагом 5 мм. С краев оставляют поля шириной 15—20 мм. Когда паста хорошо высохнет, из пакета тщательно удаляют воздух и заваривают его край путем проглаживания через полоску бумаги ребром горячего утюга. На таком листе хорошо делать рисунок проводников односторонних плат: детали наносят на одну его сторону (их сводят с шаблона), а проводники рисуют на другой его стороне. Ошибочно проведенные линии или детали удаляют слегка увлажненным ватным тампоном. Координатная сетка, находящаяся внутри пакета, хорошо защищена и сохраняется очень долго. На таком листе можно делать разводку плат и с двусторонней печатью. Однако, как и в случае с органическим стеклом, лучшие результаты дает объединение двух таких листов (их сшивают или сваривают).

При работе с объемными конструкциями делают тетрадь из трех-четырех листов полиэтилена. Координатную сетку в этом случае можно сделать отдельно. Линии на ней наносят более темными чернилами. Лист с сеткой вкладывают в тетрадь и на всех нужных листах наносят контуры платы. Если же ее размеры не известны, то компоновку начинают от ключа в левом углу сетки. Рисунок печатной схемы на разных сторонах платы (или на разных платах в случае объемной конструкции) и контуры деталей размещают на разных листах тетради и делают каждый своим цветом чернил.

Натурная компоновка. Ниже рассмотрен только один способ применительно к решению задачи наиболее правильного размещения деталей схемы при компоновке устройств с повышенной плотностью. В натуре воспроизводят только наиболее трудные для компоновки места либо последовательно прорабатывают все участки будущей платы. Это не требует большого числа деталей, можно применять и вышедшие из строя транзисторы, диоды и т. д. Детали размещают на небольшой плате, имеющей сетку отверстий диаметром 1,1—1,2 мм с выбранным шагом печати. Плату делают из любого материала (органического стекла, гетинакса и др.). В отверстия платы вставляют выводы деталей; для их фиксации под плату кладут брусок поролона. Концы выводов заостряют — так они легче входят в поролон, и обрезать их не надо. Найденное размещение деталей переносят на

эскиз и выполняют рисунок проводников. Если без пересечений их установить нельзя, то перемещают детали или применяют иное размещение и исправляют рисунок проводников. После этого детали используют для компоновки нового участка платы. Если же дальнейшее размещение деталей затруднений не вызывает, то его делают графически или аппликациями. Большая наглядность натурной компоновки позволяет находить решения в самых сложных случаях.

11. КОМПОНОВКА МОДУЛЕЙ И СОСТАВЛЕНИЕ МОНТАЖНЫХ ЭСКИЗОВ

Рисунок компоновки элементов (компоновочный эскиз) не всегда пригоден для сборки печатной платы. Поэтому после выполнения рисунка делают по нему другой, упрощенный и в нужной для монтажа проекции. Их удобнее называть монтажными эскизами или монтажными схемами.

Модули с односторонней печатью. Процесс компоновки односторонней печатной платы рассмотрим на модулях, показанных штрихом на рис. 28. По условию приемник должен быть выполнен в покупном корпусе, поэтому размеры модулей нельзя взять произвольными. Из имеющихся в продаже выбираем корпус с наружными размерами 114×72×35 мм. В нем свободно размещаются головка громкоговорителя 0,1ГД-6 и батарея 3336Л. Разместив их в корпусе (рис. 31, *а*), определяем место для установки модулей. Как видно из рисунка, оно имеет П-образную форму (охватывает магнит головки громкоговорителя). Между модулями *I* и *III*, имеющими по 12 деталей, расположен модуль *II* с вдвое меньшим числом деталей.

Размеры модулей надо выбирать исходя из размеров наиболее широко используемых деталей. В данном случае это резисторы. Выбираем резисторы ВС-б-0,125. Один из размеров модулей *I* и *III* может быть равен 21 мм (рис. 31, *б*), а на длине 47 мм надо разместить модули *I* и *II*. Если принять размер 21 мм и для модуля *II*, вторые размеры модулей *I* и *II* будут равны соответственно 30 и 15 мм. Их сумма близка к заданной длине 47 мм, отношение равно 2. Таким образом, модули *I* и *III* будут иметь размеры 21×30 мм, а модуль *II* — 21×15 мм. Для размещения модулей *IV* и *V* остается площадь 17×47 мм. Если их сделать таких размеров, как и модуль *II* (15×21 мм), то общая длина составит 42 мм, что удовлетворяет условию.

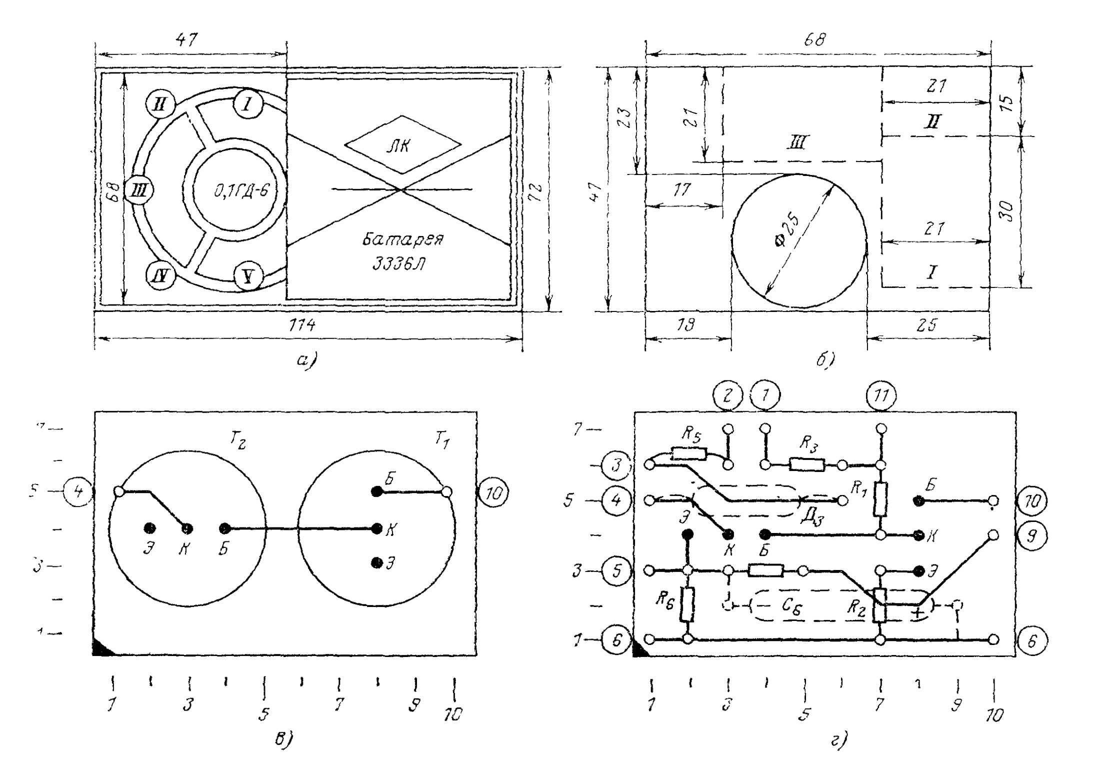
Установив наибольшие размеры модулей, можно приступить к их компоновке. Начинать ее следует с модулей, имеющих наибольшее число деталей, т. е. модулей *I* и *III*. Модули в приемнике размещают так, чтобы их входы были справа (по рисунку), а выходы — слева; питание подводят со стороны головки громкоговорителя (верх по рисунку модуля), а общий провод (корпус) — по внешней стороне модуля (нижняя по рисунку сторона). Прежде всего размещают транзисторы ГТ308 (как наиболее крупные детали). Вначале их ставят по четвертой (средней) продольной строке. Центры транзисторов (выводы коллекторов) от края платы отстоят на 2,5 шага; расстояние между их центрами 5 шагов. Выводы на рисунке помещают в узлах сетки и отмечают кружками. Чтобы выводы транзисторов не путать с выводами других деталей, обозначающие их кружки (контактные площадки) зачерняют и у каждого ставят первую букву его наименования: *К* — коллектор, *Б* — база, *Э* — эмиттер

Так как база T_2 соединена с коллектором T_1, то для получения короткого их соединения транзистор T_2 развертывают на 90° (рис. 31, *в*). Затем размещают и соединяют резисторы, придерживаясь принятой системы входов и выходов (рис. 31, *г*). Все детали обозначают тонкими или штриховыми линиями, так как они находятся за платой, а проводники — жирными линиями. Для выделения линий печати хорошо использовать цветной карандаш.

Сделанный эскиз показывает, что при выбранной расстановке деталей из четырех конденсаторов свободно размещается только один — C_6 (типа К50-9 емкостью 10 мкФ×3 В); на рис. 31, *г* он изображен штрихом. В то же время 7-я продольная и 9-я, 10-я поперечные строки почти свободны. Учитывая, что конденсаторы включены в цепи эмиттеров, рисунок, расположенный выше третьей продольной строки, сдвигают вверх на один шаг (рис. 31, *д*). Теперь легко установить конденсаторы C_4 и C_5, а конденсатор C_6 размещается с трудом (рис. 31, *е*). Переносим место пайки его отрицательного вывода с третьей вертикальной строки на первую. В модуле *III* вместо конденсатора C_5 стоит резистор R_{12}, и если его разместить на том же месте, то надо применить резистор с осевыми выводами, например, ВС-а-0,125. Специальная же площадка с координатами 3/3 позволяет использовать резистор R_{12} такого же типа, как и остальные. Конденсатор C_{10} (вместо C_4) лучше установить вертикально, а сближенные до одного шага контактные площадки с координатами 9/2 и 9/3 позволяют применить конденсатор типа К50-6. Отсутствие места для конденсатора C_3 вынуждает еще раз пересмотреть сделанную компоновку. Нетрудно заметить, что большое расстояние между центрами транзисторов (5 шагов) привело к малой плотности деталей в центре платы. Конденсатор C_3 надо разместить вблизи точки соединения резисторов R_1 и R_3. Сместив транзистор T_1 влево и вниз на один шаг и перенеся в точку 10/5 вывод катушки связи L_2, освобождают правый верхний угол платы для конденсатора C_3 (рис. 31, *ж*). При этом конденсатор C_4 надо расположить вертикально на тех же площадках, что и конденсатор C_{10}. Сместив их на 9/2 — 10/2, получают возможность применить конденсатор типа К50-6. То же проделывают и для конденсатора C_6. Теперь все элементы схемы размещены на плате.

Однако считать компоновку законченной еще рано: в левом нижнем углу платы бо́льшая плотность деталей, чем в других ее участках. Это исправляют, сместив резисторы R_2 и R_4 (рис. 31, *з*). К тому же большинство входов и выходов совпадает с выводами деталей, а это усложняет работу с модулем. Конденсатор C_5 (типа КЛС) трудно разместить под транзистором T_2. Чтобы облегчить монтаж, конденсатор C_5 следует разместить рядом с транзисторами T_2. Контактные площадки для входов и выходов освобождают, сместив резисторы и добавив новые площадки на свободных местах (рис. 31, *и*). Остается один совмещенный с деталью вывод, это — корпус конденсатора C_5. Однако при сборке модуля *I* его можно совместить с площадкой резистора R_6, а для модуля *III* вход обратной связи с выводом резистора R_{12} не совмещен. Теперь надо сделать монтажные эскизы модулей *I* и *III* (рис. 31, *к—л*).

Введем обозначения, состоящие из букв, указывающих тип монтажа и на какие элементы рассчитана плата (П — плоский, В — вертикальный, К — колончатый или объемный и т. д.), порядкового номера компоновки или модуля в конструкции (01, 02 и т. д.) и буквы, обозначающей монтажную схему на данной плате. Таким образом,


47
114
68
72
0,1ГД-6
ЛК
Батарея
3336Л
а)
68
23
21
47
17
Ф25
III
21
15
II
30
I
18
25
б)
T2
T1
Б
К
Э
в)
R5
R3
R1
Д3
R6
C6
R2
г)

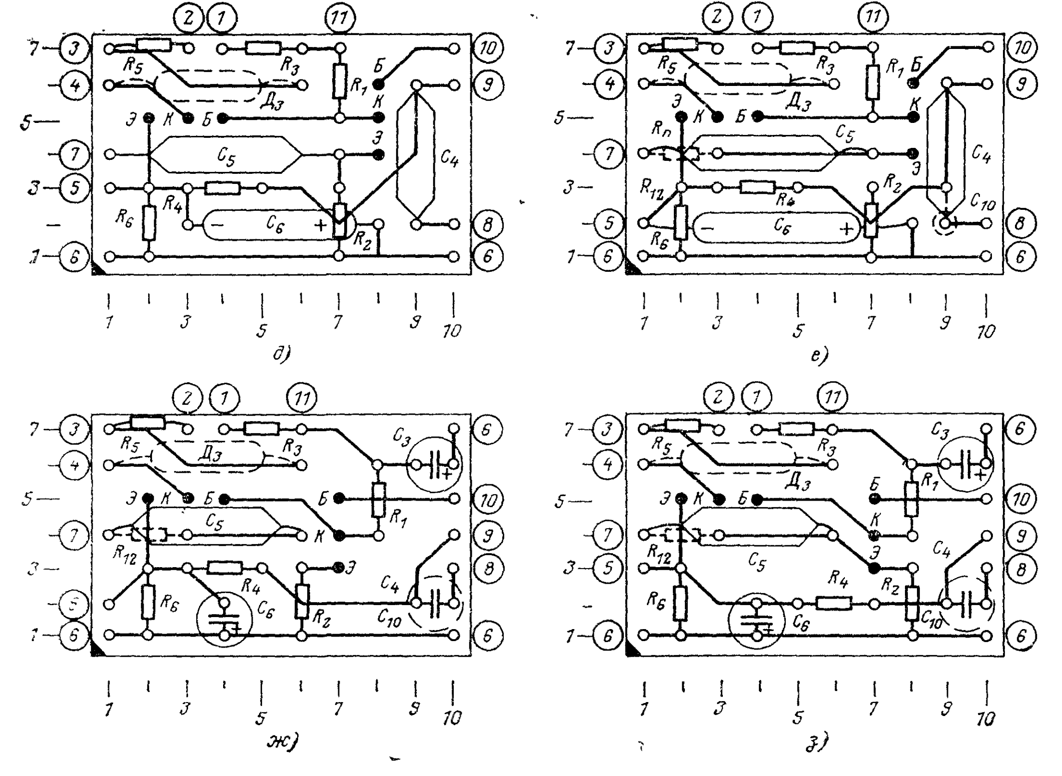
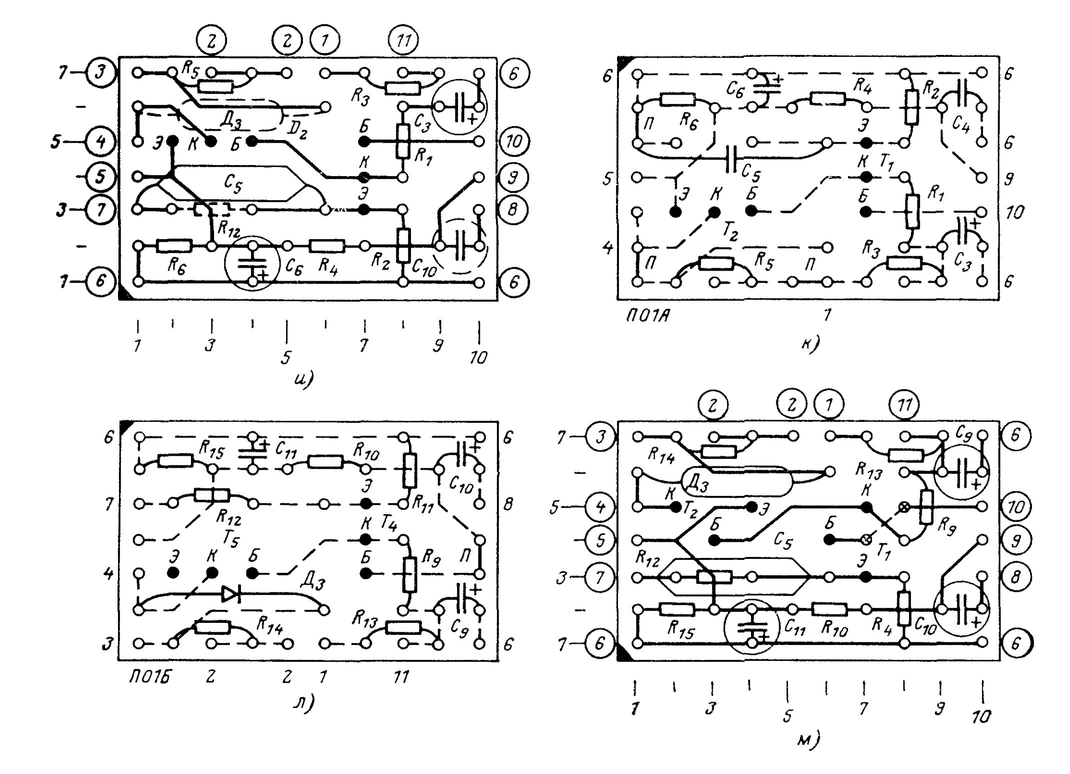


Рис. 31. Этапы компоновки модулей.


R5
R3
Д3
Д2
C3
R1
C5
R12
R6
C6
R4
R2
C10
ПО1А
R6
C6
R4
R2
C4
C5
T1
T2
R1
R5
R3
C3
ПО1Б
R15
C11
R10
C10
R11
R12
T4
T5
R9
Д3
R14
R13
C9
R14
Д3
T2
C9
R13
R9
C5
T1
R12
R15
C11
R10
R4
C10

и)

к)

л)

м)

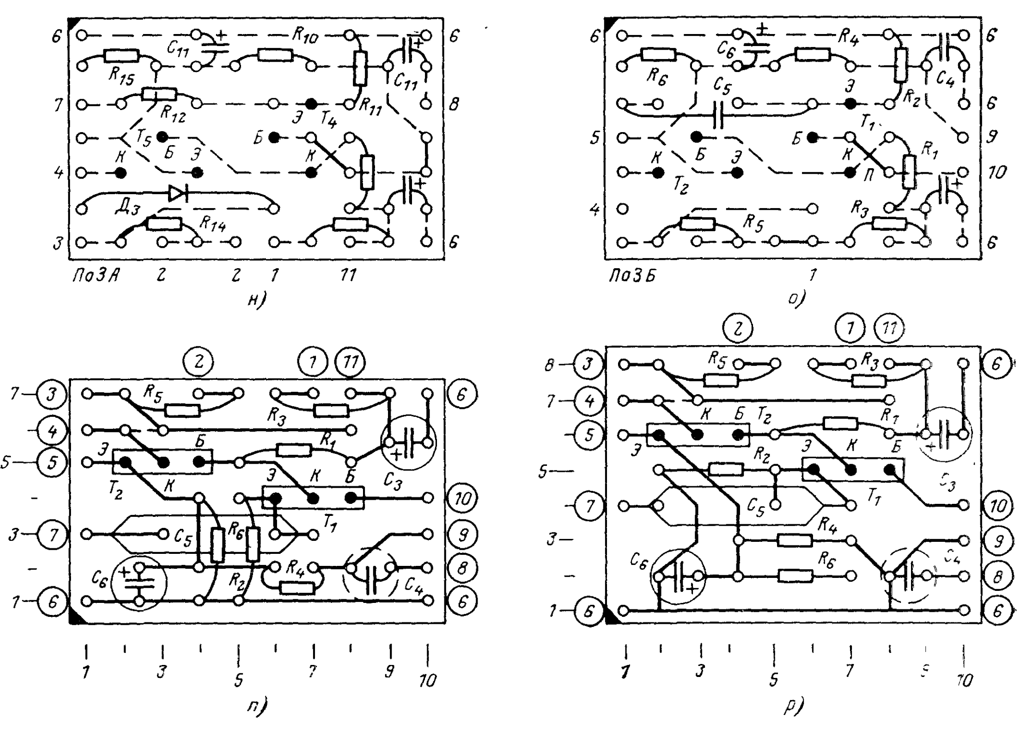


Рис. 31. Этапы компоновки модулей. (*Продолжение*)

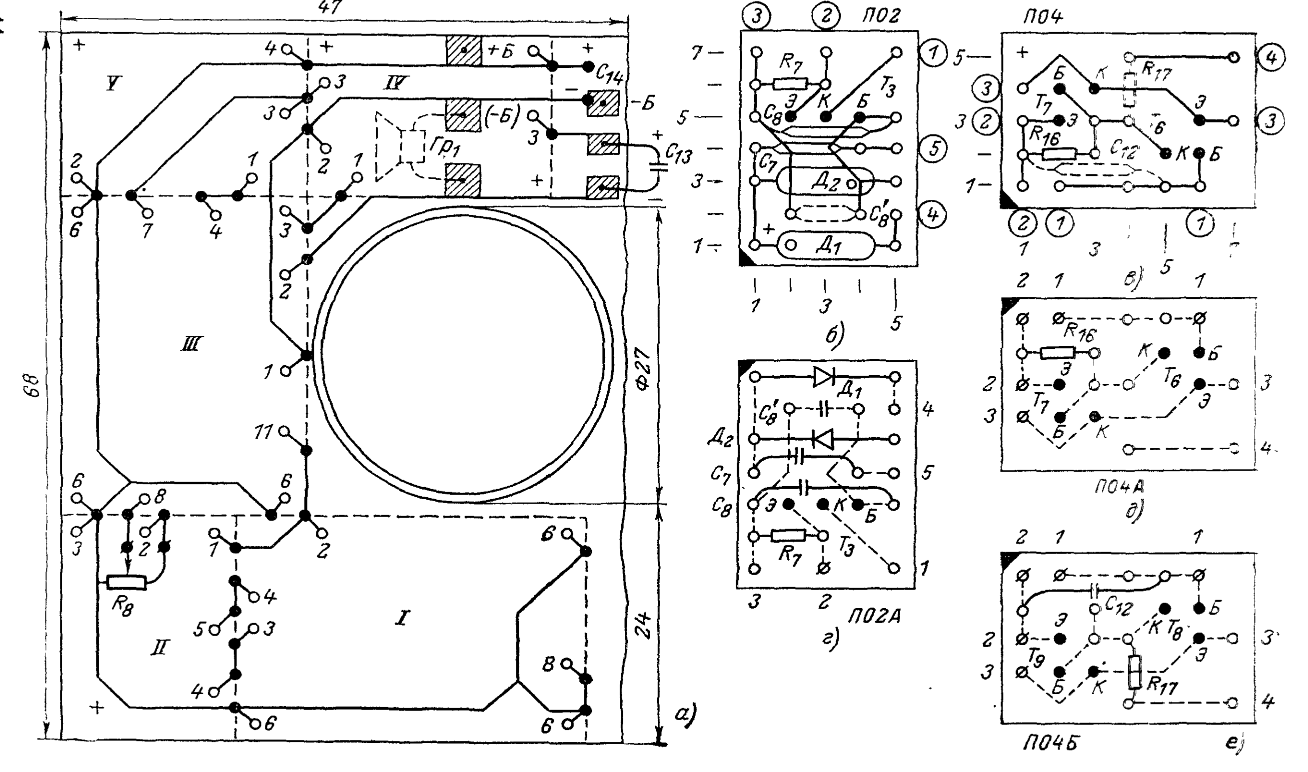


Рис. 32. Предварительный эскиз соединений платы (*а*), компоновка модулей (*б*, *в*) и эскизы монтажных схем (*г*—*е*).

печатная плата для модулей *I* и *III* получает обозначение П01, а собранные на ней модули будут обозначаться: П01А (модуль *I*) и П01Б (модуль *III*). При выполнении их монтажных эскизов проводники рисуют штрихом, а детали условно, как на принципиальной схеме. Проволочные перемычки показывают сплошной линией и около них ставят букву *П*. Чтобы эскиз не был сильно загроможден, схему подключения транзисторов не рисуют, а делают маркировку их выводов (*Э*, *К*, *Б*) и зачерняют площадки. Используемый в данном варианте вывод отмечают номером или стрелкой с адресом. Все детали обозначают согласно принципиальной схеме модуля или прибора (R_1, C_1, $Д_1$, T_1 и т. д.).

Модуль *III* можно собрать и на низкочастотных транзисторах типа МП40; при этом производить вновь всю компоновку не требуется (рис. 31, *м*), нужна лишь перемычка с 7/4 на 8/5. Новую плату обозначают П03, а монтажный эскиз модуля — П03А (рис. 31, *н*). На этой же плате можно монтировать и модуль *I* (рис. 31, *о*). Некоторое неудобство, связанное с установкой высокочастотных транзисторов, окупается меньшим числом разных печатных плат.

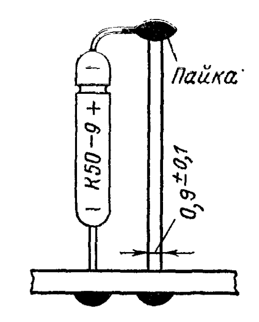


Рис. 33. Вертикальная установка на плате малогабаритного электролитического конденсатора.

На рис. 31, *р* показана компоновка модуля с транзисторами КТ315 на плате длиной 25 мм. Если резистор R_4 установить вертикально и конденсаторы C_3 и C_6 сместить по сетке на полшага, то ширину платы можно уменьшить до 18 мм (рис. 31, *п*).

Компоновку остальных модулей производят аналогично. Однако при этом следует учитывать некоторые особенности. Во-первых, входы и выходы остальных трех модулей (*II*, *VI*, *V*) надо разместить так, чтобы соединения между ними были проще. Во-вторых, разводку модулей *IV* и *V*, имеющих сходные схемы, желательно сделать так, чтобы использовать одну и ту же печатную плату. Сначала делают предварительный эскиз соединений на сборочной плате (рис. 32, *а*). На нем контуры модулей даны штрихом и отмечены площадки нужных выводов с их номером. Координатная сетка модулей по отношению к сетке платы смещена на полшага. Это позволяет подключать один и тот же вывод модуля либо к одной, либо к другой шине на плате. Наметив положение выводов на платах модулей *II*, *IV* и *V*, делают их компоновку (рис. 32, *б*, *в*). Разводку модулей *IV* и *V* лучше всего делать одновременно — так их легче согласовать. Эскизы монтажных схем модулей *II* (П02А); *IV* (П04А) и *V* (П04Б) даны на рис. 32, *г*—*е*.

Существенно сократить размеры модулей можно, применяя вертикальную установку деталей (см. рис. 3 и 5 и пример на рис. 33). При этом лучше применить резисторы и конденсаторы с осевыми выводами (ВС-а-0,125, К50-9 и др.) и специально приспособленные для такого монтажа (К-50-6, К10-7в и др.). Процесс компоновки аналогичен рассмотренному. Один из вариантов компоновки модулей по рассмотренному выше примеру, но с вертикальной установкой деталей приведен на рис. 34, *а*—*в*. Как видно из компоновочного эскиза

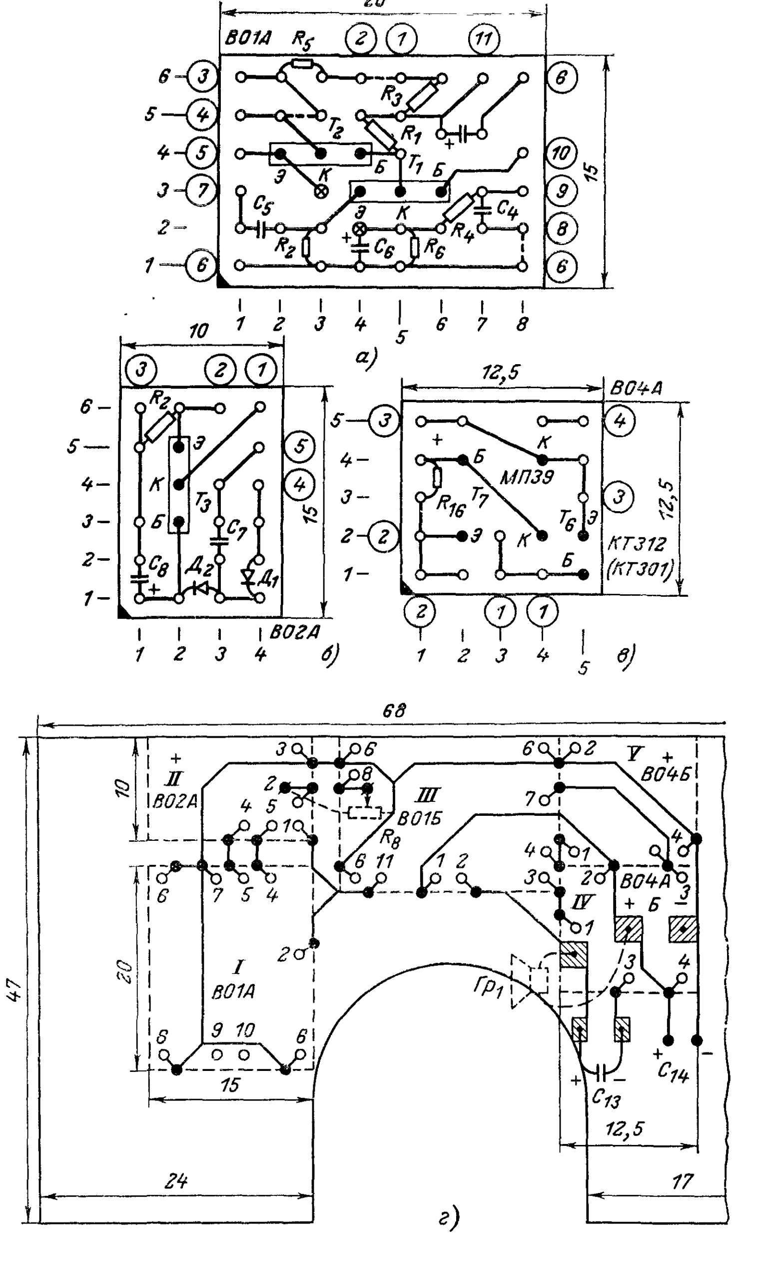
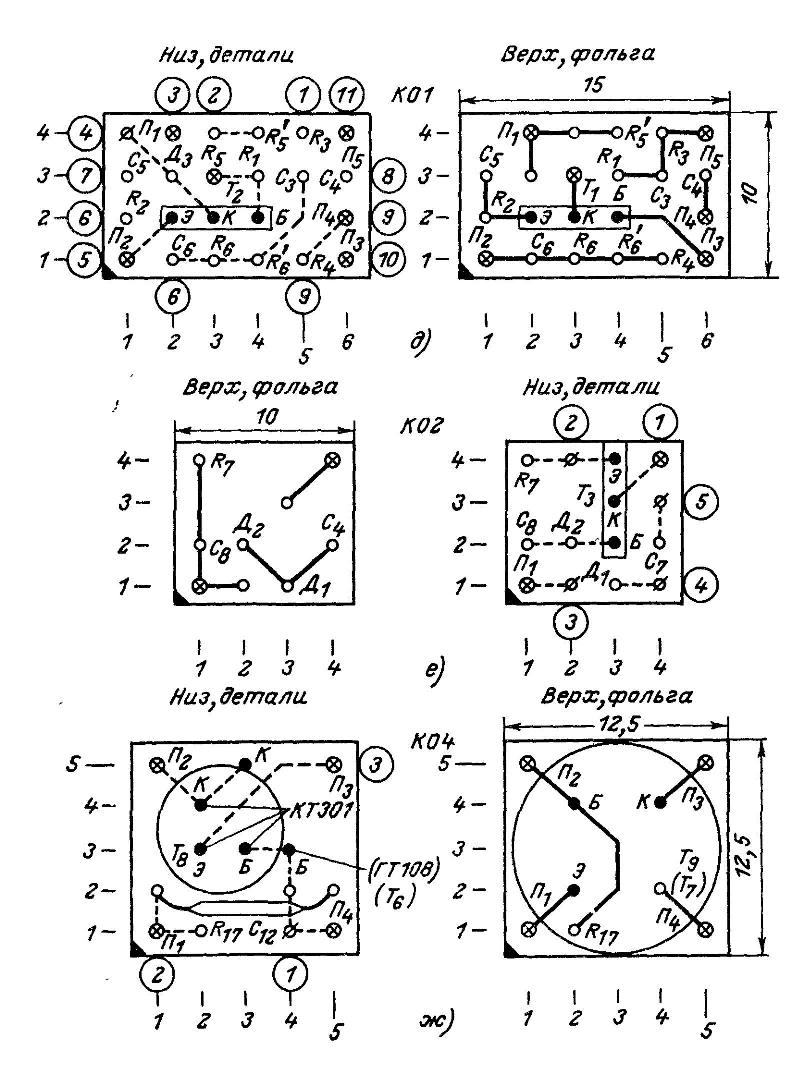


Рис. 34. Варианты компоновки

сборочной платы (рис. 34, *г*), площадь, занимаемая модулями, сократилась почти в 2 раза, и в выбранном корпусе можно собрать приемник по более сложной схеме.

Модули с двусторонней печатью. Компоновка плат с двусторонней печатью почти не отличается от рассмотренной выше. Печатные проводники на второй (лицевой) стороне платы необходимы, если избежать пересечений невозможно. На платах с обычной плотностью



модулей (*а* — *в*, *д* — *ж*) и платы (*г*).

монтажа проводники на лицевой стороне совпадают с координатной сеткой. При сильном уплотнении вертикального монтажа прокладку длинных проводников делают на второй стороне между выводами деталей по смещенной на полшага координатной сетке. Диаметр выводов всегда меньше диаметра контактных площадок, и такая прокладка линий легко выполнима при шаге 2,5 мм. Заметим, что компоновка плат с двусторонней печатью выполняется проще, чем компоновка такой же схемы на односторонней плате.

Платы с двусторонней печатью при выполнении эскиза компоновки надо изображать на бумаге со стороны пайки. Проводники лицевой стороны на эскизе делают штрихом.

Объемные модули с односторонней печатью. Особенностью компоновки этих модулей является способ размещения на одной плате транзисторов и конденсаторов типа К50-6: их размещают друг под другом. Компоновочный эскиз удобнее выполнять, расположив платы рядом. Одну из плат изображают со стороны деталей, вторую со стороны фольги. Так лучше изображать ту плату, на которой больше транзисторов. На рис. 34, *д—ж* даны компоновочные эскизы модулей приемников К01, К02, К04. На обеих платах отмечают ключ. Его размещают в левом нижнем углу эскиза, откуда и ведут отсчет координат. Нумерация сетки на обеих платах одинакова. Положение деталей с осевыми выводами отмечают на обеих платах контактной площадкой и обозначением по схеме. Если при поперечном сечении деталь меньше шага печати (резисторы ВС-0,125, МЛТ-0,125 и др.), его контуры на эскиз не наносят. Контуры же крупных деталей наносить на эскиз следует обязательно. Печатные проводники на плате, изображаемой со стороны деталей, рисуют штрихом, а со стороны фольги — сплошными линиями. Допустима несоосная установка деталей с гибкой одного или двух выводов. Крупные детали (например, транзисторы) при компоновке объемных модулей размещают внутри объема, а по периметру ставят мелкие детали и перемычки.

Объемные модули с двусторонней печатью. Переход на вторую сторону платы объемного модуля нужен при уплотнении монтажа и усложнении схемы модуля. Рисунок печатных проводников двусторонних плат делают сразу на обеих платах. При выполнении эскиза для сокращения графических работ проекцию модуля выбирают так, чтобы сразу получить монтажный эскиз. Если же на плате много транзисторов, то ее при компоновке изображают со стороны пайки, а для сборки — со стороны монтажа.

12. ПОДКЛЮЧЕНИЕ МОДУЛЕЙ К ВНЕШНЕМУ МОНТАЖУ

Способы подключения зависят от установки модулей на сборочной плате. Выводы могут быть жесткими, гибкими и комбинированными. При плоском размещении модуля их располагают по периметру. Жесткие выводы делают из проволоки диаметром 0,5—0,8 мм или из выводов деталей. В первом случае для их закрепления провод сгибают кольцом или расплющивают. Однако жесткие выводы при количестве больше четырех не удобны, так как при совершенствовании аппаратуры затруднена замена модуля. В этом случае (на частотах до 10 МГц) их удобно соединять с платой тонким проводом (диаметр 0,3—0,4 мм), перекинутым через край (рис. 35).

При плоской установке модулей на плате с двусторонним монтажом их приподнимают над платой с помощью изоляционных под-

ставок. При регулировке или проверке аппаратуры иногда бывает необходимо подключать внешние цепи (сигналы от генератора, вольтметр и др.) как к плате, так и к модулям. Для этого при компоновке предусматривают установку контактных штырей круглой (диаметром 1 мм) или прямоугольной (0,5×1,5 мм) формы высотой 7—10 мм. Штыри запрессовывают в плату либо припаивают к контактной площадке. В последнем случае конец штыря делают конусным или ступенчатым и устанавливают в месте, доступном для подключения гнезд. Последние берут от штепсельных разъемов с круглыми или прямоугольными (МРН-1) штырьками.

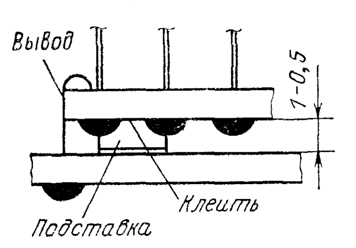


Рис. 35. Установка модуля на плате с двусторонним монтажом.

Если необходимо сократить длину соединений модулей, то ставят короткую проволочную перемычку. В объемных модулях ее припаивают к специальным контактным площадкам (их делают и в плоских модулях с двусторонней печатью), а на плоских модулях с односторонней печатью применяют монтажные штырьки или заклепки. При вертикальной установке плат модулей их выводы делают жесткими либо смешанными. Демонтаж плат с большим числом жестких выводов весьма сложная задача, поэтому при частой смене модулей лучше делать только два-три жестких вывода, а остальные — гибкие. Такое крепление модулей имеет меньшую прочность. При вертикальной установке модулей необходимо дополнительное их крепление, особенно модулей с вертикальным монтажом.

13. РИСУНОК ПРОВОДНИКОВ ДЛЯ ПЕРЕНОСА НА ФОЛЬГУ

После выполнения компоновочного эскиза вычерчивают рисунок печатных проводников на фольге платы с помощью трафаретов.

Такой рисунок наиболее просто делать с компоновочного эскиза, выполненного со стороны пайки деталей. Для односторонней платы рисунок печатных проводников с такого эскиза просто перерисовывают, отбрасывая все детали. Это позволяет при выполнении рисунка проводников не соблюдать никаких других масштабов, кроме координатной сетки, и делать их полностью от руки.

При использовании прозрачных пленок с несколькими страницами изображения проводников легко делать отдельно от деталей. В этом случае изображение сводят на бумагу (воспользовавшись подсветом и совместив линии сеток) либо перечерчивают его на фольгу. Последнее менее трудоемко, однако годится только для разового применения.

Контактные площадки, где сплошная линия на монтажном эскизе переходит в штриховую (площадки *1*, *2* и *3* на рис. 36, *а*), изображают на рисунках обеих сторон (*I* и *II*) и отмечают одинаковыми условными знаками.

При выполнении рисунка группы модулей на общей двусторонней плате надо следить за правильным положением ключа каждой платы на рисунках разных сторон. Хорошие результаты дает совмещение рисунков при просмотре их на яркий свет. Для этого рисунки складывают тыльными сторонами и сжимают между двумя кусками органического стекла. Если оба рисунка выполнены правильно,

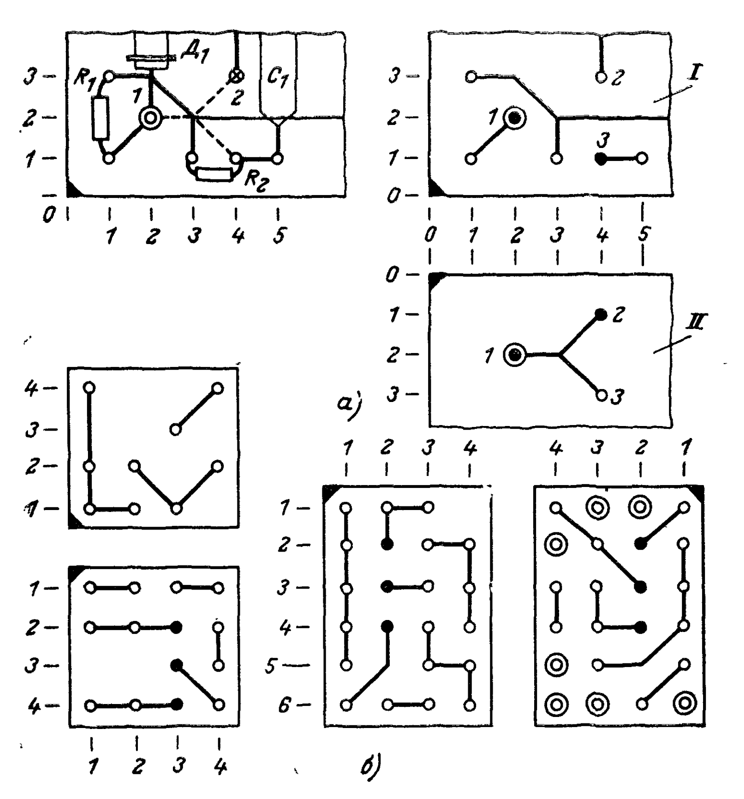


Рис. 36. Примеры выполнения рисунка проводников для переноса на фольгу при двусторонней печати (*а*) и для объемных модулей (*б*).

изображение проводников будет точно соответствовать компоновочному эскизу.

Изготовление рисунков для объемного модуля с односторонними платами отличается от рисунков при двусторонней печати тем, что на компоновочном эскизе объемного модуля изображения проводников разделяют на два рисунка, один из которых перевернут На рис. 36, *б* показаны рисунки проводников модулей К01 и К02. Для объемного модуля с двусторонней платой делают отдельные рисунки проводников, когда же обе платы двусторонние — вместе.

Глава четвертая

СБОРКА МОДУЛЕЙ И МОДУЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Сборку плат начинают с установки контактных элементов (пистонов, штырьков, разъемов). Контактные элементы, укрепляемые на плате с помощью пайки, устанавливают при сборке одновременно с деталями. Порядок установки последних зависит от типа монтажа и степени его сложности.

14. СБОРКА ПЛОСКИХ МОДУЛЕЙ

В модулях с плоским размещением деталей порядок установки зависит от их положения друг относительно друга. Установка деталей с зазором имеет много преимуществ. Зазор создают прокладками из полосок картона толщиной 1—1,5 мм и шириной 5—6 мм. Необходимое их число кладут под деталь и, прижав ее к плате, обрезают выводы и делают пайку. При формовке выводов прокладки не нужны, так как положение детали определено. Высоту установки деталей можно задать, одев на их выводы отрезки трубочек из изоляционного материала (см. рис. 2).

При размещении на плате деталей разной высоты, например резисторов ВС-0,125 и конденсатора КЛС емкостью 0,1 мкФ, последний устанавливают на плате с зазором 1 мм, а резисторы — с большим зазором: габариты модуля определяет высота наибольшей детали. Это улучшает внешний вид монтажа, облегчает тепловой режим деталей и дает свободный доступ к плате.

Вывод деталей при плоской установке формуют плоскогубцами или специальным пинцетом из пластин (рис. 37). На рабочем конце пинцета наносят риски, соответствующие его ширине в миллиметрах. Это позволяет определять положение пинцета по отношению к детали для получения нужного расстояния между ее выводами.

Транзисторы устанавливают на платах тремя способами (рис. 38). Установка «стоя» (рис. 38, *а*) наиболее проста. Она не требует формовки выводов, дает весьма жесткую фиксацию транзистора и позволяет размещать под ним другие детали. Установка «набок» (рис. 38, *б*) требует выполнения сложной формовки выводов [14], однако она необходима при размещении транзистора рядом с крупной деталью, с другим транзистором или при его монтаже близко к краю платы. Жесткость этого крепления ниже, и корпус транзистора при необходимости крепят кольцом из проволоки, а ее концы впаивают в специальные контактные площадки. От корпуса транзистора кольцо изолируют трубкой. Установку транзистора «лежа» (рис. 38, *в*) в уплотненном монтаже не применяют из-за большой занимаемой площади.

В положении «стоя» высоту установки транзистора фиксируют согнутой вдвое полоской картона нужной ширины. Если под транзистором картон поместить нельзя, то вначале делают пайку среднего вывода, а затем, выровнив корпус, припаивают остальные выводы. Высоту монтажа иногда определяют конденсаторы К50-6. Транзисторы ставят на одном с ними уровне так: на конденсаторы кладут картон (рис. 39), транзистор за выводы прижимают к картону и припаивают остальные выводы. Высоту установки микросхем на платах также задают числом прокладок.

Рис. 37. Самодельный пинцет для формовки выводов.

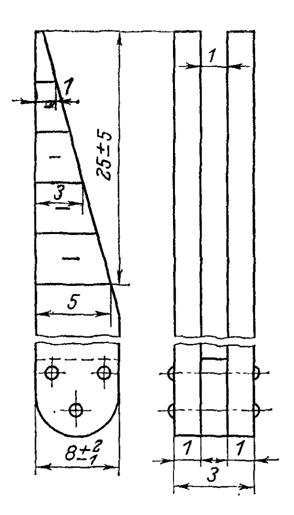
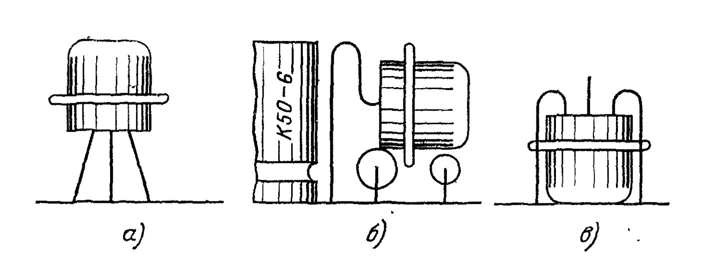


Рис. 38. Различные способы установки транзисторов.



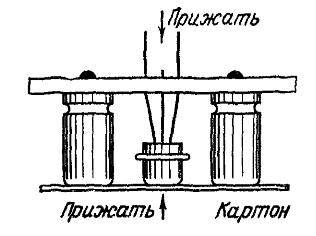


Рис. 39. Крепление электролитических конденсаторов К50-6 и транзистора.

15. СБОРКА МОДУЛЕЙ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ И ОБЪЕМНЫМ МОНТАЖОМ

При сборке модуля с вертикальной установкой деталей нужна формовка одного вывода. В этом его преимущество перед плоским размещением деталей. Несколько вариантов формовки выводов показано на рис. 40, *а—в*. Первый из них применяют тогда, когда вывод детали делают в виде мостика, второй — при малой длине верхнего вывода. Верхний вывод от корпуса детали изолируют трубкой. На рис. 40, *в* показан способ формовки вывода из круглой оправке. Это самый простой и удобный способ. Его применяют при малом расстоянии между точками крепления детали. Обычно это шаг печати 2,5 мм или диагональ квадрата сетки, которая для шага 2,5 мм составляет 3,5 мм. При толщине выводов деталей 0,5 мм диаметр оправок для их формовки при шаге 2,5 мм должен быть 2 и 3 мм. Оправками могут служить хвостовики сверл или отрезки проводов, вставленные для удобства пользования в ручки из пластмассы. Формовку выводов удобно делать вилками (рис. 41). Выводы диодов в стеклянных корпусах (Д9, КД503А и др.) изгибать близко к корпусу недопустимо. В то же время при малой высоте монтажа формовка на круглом стержне вынуждает устанавливать диод близко к плате, и при пайке вывода катода его можно испортить. Поэтому необходимо предельно уменьшать высоту изгиба.

Фиксировать высоту установки деталей при их вертикальном положении можно полоской картона нужной ширины или планкой с пропилом. Применение картонной полоски дает одинаковую высоту монтажа разных деталей. Планка с пропилом фиксирует расстояние деталей от платы.

Транзисторы и микросхемы устанавливают так же, как при плоском монтаже.

К гибке радиальных выводов деталей при сборке объемных модулей прибегают для их совмещения с контактными площадками. Сборку модулей начинают с установки деталей на одну из плат модуля. Порядок сборки модулей имеет существенное значение. Так, установка деталей в «глубине» платы при заполненном периметре весьма затруднительна, а в собранном модуле часто необходим демонтаж некоторых деталей во внешнем ряду. Этого можно избежать, придерживаясь следующих правил: 1) сборку каждой из плат следует начинать с середины; 2) применять для сборки нужно только заведомо годные и проверенные детали; 3) установку элементов, требующих подбора, лучше делать после проверки и регулировки модуля; 4) при объединении плат рекомендуется обрезать выводы последовательно. Поэтому на верхнюю плату модуля вначале устанавливают транзистор T_1 (рис. 42, *а*), затем конденсаторы C_1 и C_2 и только потом другие детали (R_1—R_4, R_7 и $Д_1$—$Д_3C_3$) и перемычки *П*. Резисторы R_5 и R_6 подборные; их устанавливают позже. На нижнюю плату (рис. 42, *б*) устанавливают вначале транзистор T_2, а потом резисторы R_8 и R_9. Высоту установки деталей на платах фиксируют как в модулях с плоским и вертикальным монтажом.

Собранную нижнюю плату ориентируют с верхней (по ключу) и в ее отверстия вставляют выводы деталей (рис. 42, *в*). Разная длина выводов деталей упрощает сборку. Поэтому выводы одинаковой длины подрезают на разной высоте. Расстояние между платами модуля фиксируют полоской картона, согнутой в виде буквы П и вставленной между деталями модуля (на рис. 42, *в* показана штрихом).

Установив расстояние между платами, обрезают и припаивают сначала два вывода в противоположных углах (сторонах) модуля. Проверив параллельность плат, припаивают еще два вывода в других углах. После этого полоски картона можно удалить. Оставшиеся

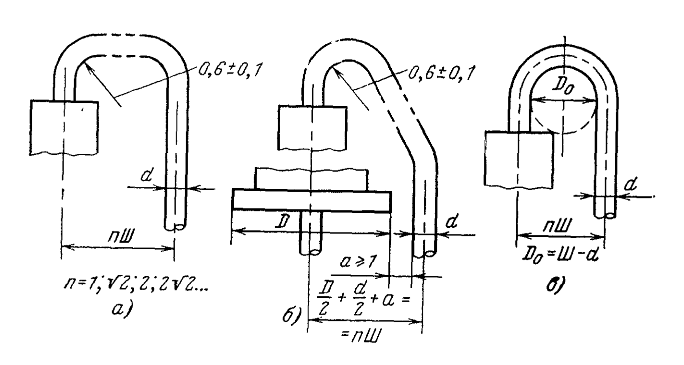


Рис. 40. Формовка гибких выводов радиоэлементов.

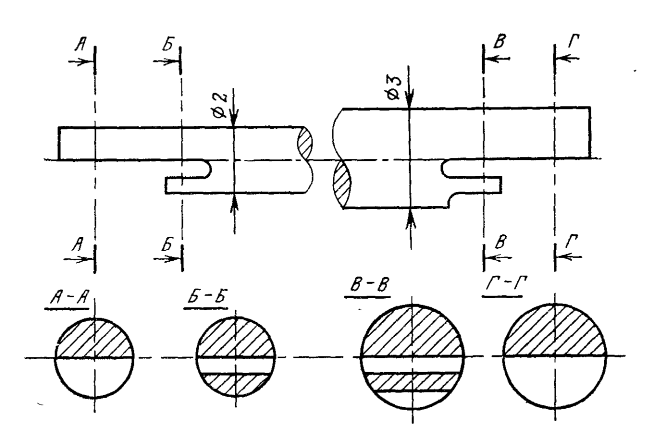


Рис. 41. Приспособление для формовки выводов.

выводы обрезают и припаивают небольшими группами (по 2—4 вывода). Если обрезать сразу все выводы, то за счет деформации платы, опор и самих выводов их концы могут оказаться утопленными в плату и при пайке вывода контакта может не быть. Поиск в устройстве только одной такой неисправности требует значительного времени.

Установка в модуле микросхем аналогична установке транзисторов. Сборку модуля на микросхемах с распрямленными выводами начинают с установки деталей, находящихся между микросхемами, потом устанавливают микросхемы и остальные детали.

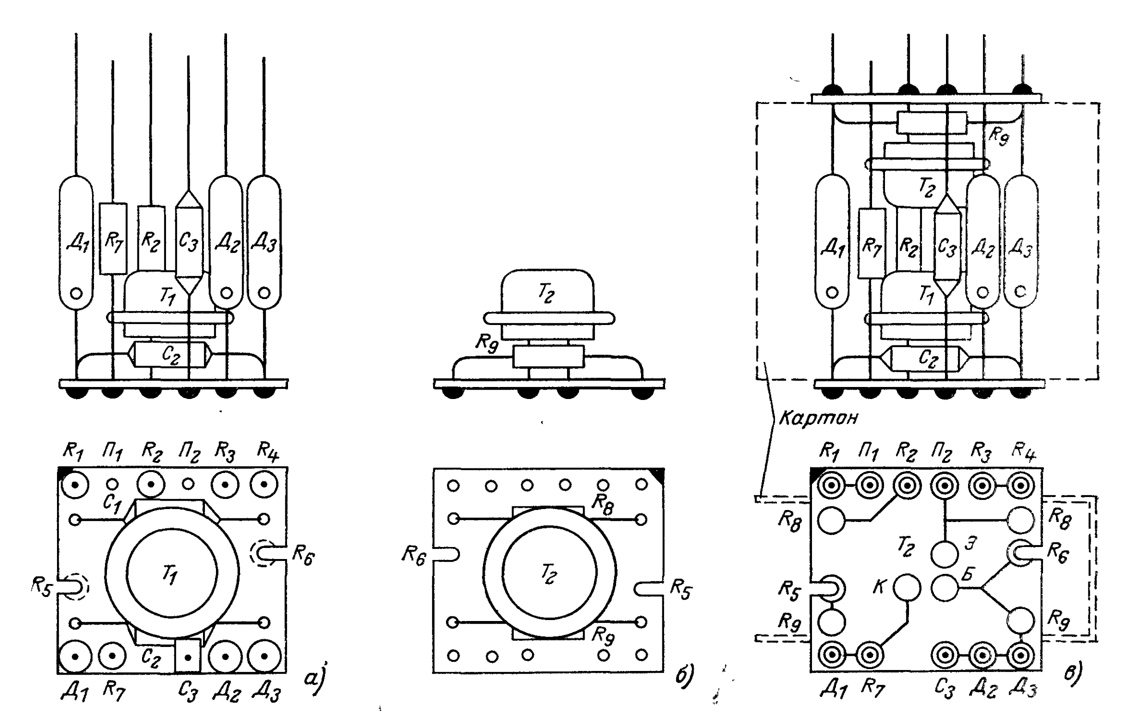


Рис. 42. Последовательность сборки объемного модуля.

Рассмотрим сборочную плату для приемника по схеме на рис. 28. Некоторые вопросы ее компоновки были рассмотрены при выборе размеров модулей (рис. 31 и 32). Под модулями размещается головка громкоговорителя, рядом с модулями — батарея 3336Л (рис. 43). Под батареей на общей плате разместим конденсатор C_{13}, регулятор громкости R_8 с выключателем питания, конденсатор переменной емкости C_1 и переключатель диапазонов. Ферритовую антенну *Ан* разместим под общей платой вдоль края ее длинной стороны, где для

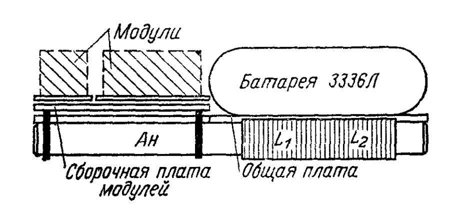


Рис. 43. Размещение элементов приемника на общей плате.

катушек индуктивности сделаем вырез. Крепят ферритовую антенну двумя бандажами из ниток.

Сборочную плату делают в виде буквы *П*. Ее монтажный эскиз показан на рис. 44, *а*, а рисунок проводников для переноса на фольгу — на рис. 44, *б*. На свободном поле обеих плат фольгу не стравливают; она служит экраном. Компоновка общей платы показана на рис. 45.

Внешние элементы или проводники подсоединяют к печатной плате с помощью пайки или разъемных соединений. Последние делают ножевыми, круглыми или печатными контактами. Паяные соединения наиболее надежны, однако они затрудняют извлечение платы для настройки, ремонта или замены. Разъемные соединения позволяют быстро извлекать платы, но надежность контакта в них ниже.

В любительских условиях для подключения плат можно использовать самодельные или готовые разъемы. На рис. 46 показан разъем типа МРН-14-1, ножевая часть которого установлена на плату.

Разъем для плат со штыревыми контактами можно сделать из гнезд панелей для пальчиковых ламп. Лепесток дорабатывают, как показано на рис. 47, *а*, и помещают в обойму из гетинакса (рис. 47, *б*). От выпадания его предохраняют две накладки, одну из которых приклеивают к обойме (рис. 47, *в*), другую крепят винтами М2 (рис. 47, *г*). Штыри к плате крепят, как показано на рис. 48, *а*, *б* [11]. Заготовки для них делают из медной или латунной проволоки (рис. 48, *в*); ее изгибают на стальной оправке толщиной 1,5—2 мм. Собранный разъем показан на рис. 49, *а*. Гнезда разъема на печатную плату устанавливают без накладок (рис. 49, *б*), а лепесток при пайке к ней плотно прижимают. В местах установки штырей и лепестков делают увеличенные контактные площадки. В местах, где не надо быстро менять платы, лучше делать паяные соединения.

Рис. 44. Монтажный эскиз сборочной платы (*а*) и рисунок проводников (*б*).

Рис. 45. Компоновка общей платы.

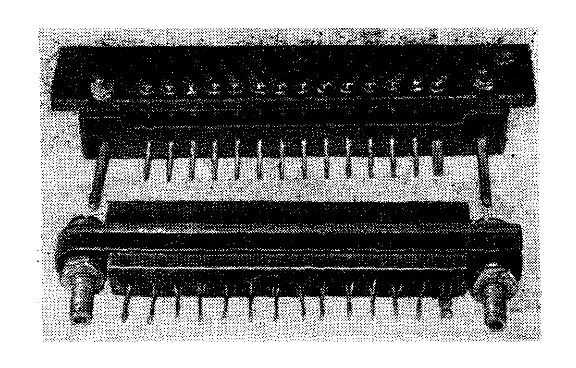


Рис. 46. Разъем МРН-14-1.

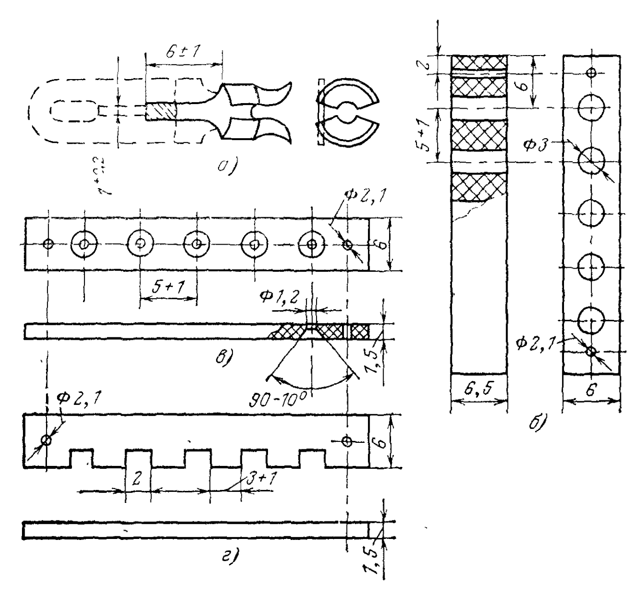


Рис. 47. Детали разъема, изготовленного с применением гнезд от панели пальчиковой лампы.

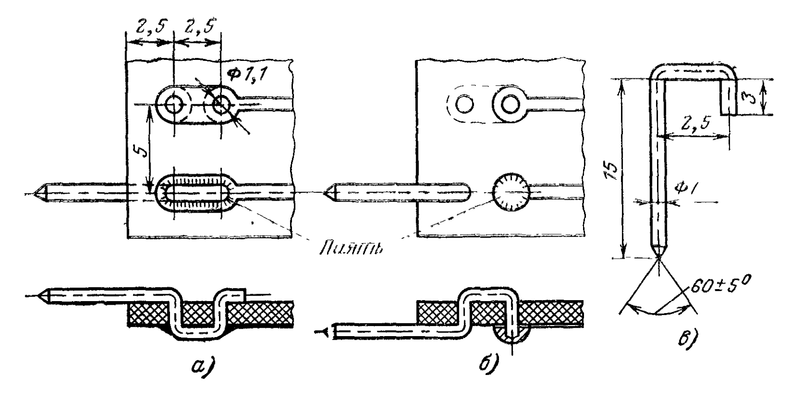


Рис. 48. Штыревая часть самодельного разъема.

Рис. 49. Разъем в сборе.

Глава пятая

НАЛАДКА МОДУЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

17. КОНТРОЛЬ И НАЛАДКА МОДУЛЕЙ ПОСЛЕ СБОРКИ

Собранный модуль подвергают контролю, наладке и проверке параметров или работоспособности. Контроль проводят на правильность монтажа, качество паек и соответствие электрических режимов заданным. Первый контроль проводят сравнением размещения элементов и их номиналов монтажному эскизу и принципиальной

схеме. Особое внимание обращают на монтаж транзисторов, диодов и электролитических конденсаторов. Модуль, собранный из деталей макета, проверяют только на правильность размещения элементов и качество паек, просматривая их при увеличении в 6—10 раз.

Опыт показывает, что при сборке плат из непроверенных деталей возможны дефекты последних или ошибки при чтении их маркировки. Устанавливать в модули непроверенные транзисторы недопустимо. Номиналы резисторов вполне достаточно проверить омметром, а для транзисторов измерить параметры $h_{21Э}$ и $I_{КБО}$.

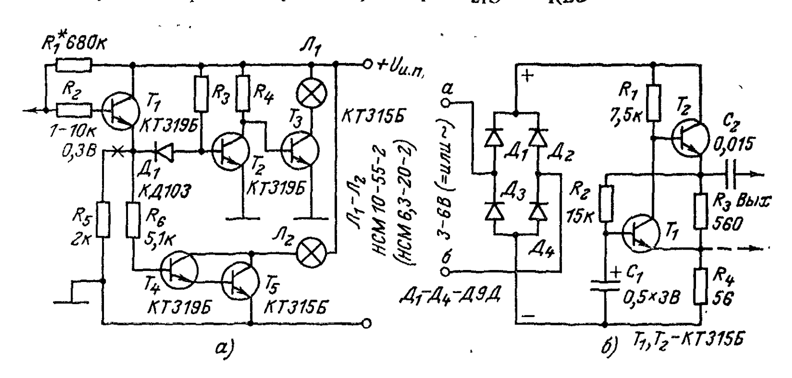


Рис. 50. Принципиальные схемы «щупов» для проверки модулей.

Окончательную отладку схем с частотно-зависимыми элементами и снятие их характеристик делают в собранных модулях. Если в схеме не указаны режимы транзисторов или они отличны от рекомендуемых, то во время макетирования необходимо записать значения токов в цепях и напряжения на коллекторах и эмиттерах транзисторов. Это облегчит контроль собранного модуля.

Возможны два варианта: 1) модуль собран из проверенных деталей тех же номиналов, что и детали отлаженного макета (без его разборки); 2) модуль собран из деталей макета. Первый вариант удобен тем, что работа собранного модуля позволяет убедиться как в правильности его сборки, так и повторяемости выбранной схемы. Однако из-за разброса параметров деталей его режимы могут отличаться от полученных на макете и нужна их корректировка. При больших отклонениях режимов следует тщательно проверить схему и сравнить с макетом. Это ускорит поиск неисправности. Замена в схеме макетного модуля собранным не должна вызывать заметных изменений в ее работе. По второму варианту модуль наладки не требует, но поиск ошибок затруднителен.

Проверку работоспособности модуля делают и универсальными способами. При этом ее полнота зависит от наличия у радиолюбителя измерительных приборов. Обычно достаточно убедиться в прохождении сигнала, для чего используют простейшие его источники.

Хорошо зарекомендовали себя сигнальные и индикаторные «щупы». Принципиальная схема последнего показана на рис. 50, *а*. В исходном состоянии на эмиттерной нагрузке транзистора T_1 с помощью резистора R_1 установлено напряжение около 0,3 В и диод $Д_1$ тока

не проводит. Транзистор T_2 открыт, и низкий потенциал на его коллекторе удерживает транзистор T_3 в запертом состоянии. Потенциал эмиттера транзистора T_1 ниже порога отпирания транзистора T_4, и обе лампы погашены. Касание щупом обесточенной и ни с чем не соединенной цепи никаких изменений в схеме не вызывает, и лампы не горят. Если же на шине есть напряжение 0—0,6 В, транзистор T_1 заперт и диод $Д_1$ проводит ток, запирая транзистор T_2; при этом транзистор T_3 отпирается и лампа $Л_1$ горит. Касание щупом шины, находящейся под потенциалом 2,4 В или более, повышает потенциал эмиттера транзистора T_1, и транзисторы T_4, T_5 отпираются; загорается лампа $Л_2$. Лампы имеют разную окраску, и спутать их нельзя. Питают щуп от того же источника, что и контролируемое устройство. Изменение напряжения питания от 3,5 до 6 В на работу щупа не влияет (изменяется лишь яркость свечения ламп). При напряжении 3 В и ниже яркость свечения ламп сильно уменьшается. Для малых напряжений питания используют лампы на напряжение 6,3 В и подбирают резисторы R_4 и R_6. В состоянии покоя щуп потребляет ток менее 1 мА, при индикации — не более 40 мА. Если в контролируемой цепи происходит смена состояний, загораются обе лампы. Сигнальный «щуп» содержит мультивибратор на транзисторах T_1, T_2 (рис. 50, *б*). Генерируемые им колебания прямоугольной формы содержат большое число гармоник. Питание схемы сделано независимым от полярности источника, для чего на его входе включен диодный мост. Щупы оформляют конструктивно в виде авторучки. В прозрачном конце индикаторного щупа размещают лампы.

Небрежный монтаж часто служит причиной многих неисправностей, поиск и устранение которых отнимают значительно больше времени и сил, чем аккуратное его выполнение. Неисправности можно разделить на монтажные и конструктивные. К последним относят неудачную компоновку модуля, недостаточную экранировку, отсутствие элементов развязки. Монтажные дефекты — это неправильно установленные или неисправные детали, плохие пайки и др. Если явные дефекты находят быстро (аппаратура не работает или работает плохо), то скрытые дефекты вначале могут себя не проявлять. В приемниках и усилителях НЧ эти дефекты вначале проявляют себя в виде шорохов, потрескиваний, хрипов и их часто принимают как внешние помехи (этому способствует их нерегулярное проявление). В осциллографической и телевизионной аппаратуре они проявляют себя в виде срывов синхронизации.

В звуковоспроизводящей аппаратуре такие дефекты отыскивают прослушиванием возникающих шорохов (тресков) при постукивании по деталям палочкой или применяя «вибрирующий стержень» [31]. Движение ему сообщает вибратор, изготовленный из магнитопровода согласующего трансформатора от карманного приемника (рис. 51). Сердечник электромагнита *1* собирают из Ш-образных пластин и помещают их в катушку *5* с одной стороны. На сердечнике укрепляют якорь — пластину *2* из пружинной стали. Зазор создается прокладками *3*. На якоре *2* закрепляют пластину *4* из гетинакса размером 2×4×100 мм. Обмотки катушки *5* соединяют последовательно и включают в коллекторную цепь мультивибратора (рис. 52, *а*). Резисторами R_2, R_3 устанавливают частоту, при которой амплитуда колебаний стержня будет составлять 0,5—1 мм. Прикасаясь последовательно его концом к элементам монтажа, можно по возникающим при этом трескам легко найти дефектную деталь или пайку. Если аппаратура не имеет акустической выходной головки или

Рис. 51. Конструкция вибратора.

Рис. 52. Принципиальные схемы мультивибратора (*а*) и усилителя (*б*, *в*) для проверки модулей.

это отдельный модуль, то для прослушивания можно взять усилитель (рис. 52, *б*) с входным трансформатором. Его обмотку с малым числом витков включают в цепь питания контролируемого модуля (рис. 52, *в*). В автогенераторе (мультивибратор, *RC*-генератор и т. п.) при таком контроле размыкают цепь положительной обратной связи. Прослушивание шумов в цепи питания полезно при обнаружении самовозбуждения схем на высокой частоте (оно проявляется в виде свистов и завывания). Самовозбуждение модуля может произойти из-за плохой развязки его элементов по питанию или неудачной компоновки. В последнем случае ее выполняют заново.

18. СОПРЯЖЕНИЕ МОДУЛЕЙ И ПРОВЕРКА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА В ЦЕЛОМ

Устройство, собранное из проверенных и налаженных модулей, не содержащих резонансных усилителей, обычно их сопряжения не требует, и его проверяют на работоспособность. Такую проверку делают в порядке, обычном при наладке схем. Сопряжение модулей необходимо либо при связи их режимов по постоянному току, либо для получения определенных характеристик (установка обратной связи по переменному току, настройка тракта ПЧ и др.). Сюда же можно отнести борьбу с самовозбуждением. Примером связи по постоянному току служат модули ПО1Б, ПО4А, ПО4Б усилителя НЧ (рис. 28). Резисторами $R_{14}R_{15}$ в модуле ПО1Б устанавливают общий начальный ток питания (2—2,2 мА) и напряжение (2,2 В) на общем выхода модулей ПО4А и ПО4Б. На второй вход модуля ПО1Б с общего вывода подают отрицательную обратную связь (ею охвачены все три модуля).

Установив режим усилителя НЧ, подключают остальные модули и проверяют устройство в целом, используя пробники или генераторы сигналов. Причиной самовозбуждения устройства может быть плохая развязка модулей по питанию, большая емкость между деталями соседних модулей или их магнитная взаимосвязь. При паразитной связи по цепям питания необходимо увеличить емкости конденсаторов развязок, затем уже вводить дополнительные развязки. Поэтому при разработке сборочной платы новой конструкции полезно предусматривать места для установки новых развязок. Самовозбуждение может возникнуть из-за большого усиления модуля или тракта. В этих случаях его снижают введением отрицательной обратной связи по переменному току, например исключают конденсатор в цепи эмиттера транзистора. Эффективным методом борьбы с емкостной или индуктивной взаимосвязью модулей служит их экранирование.

Экранирование делают частичным или полным. Частичное достаточно при малой емкостной связи. Таким экраном может служить металлическая пластина, охватывающая модуль с одной или нескольких сторон (рис. 53, *а*). Полное экранирование делают при сильных связях. Выполняют его с применением фольгированных слоев сборочной платы или из устанавливаемых на плату деталей. В первом случае необходимость экрана очевидна, его делают при компоновке платы. При двустороннем монтаже (рис. 53, *б*) частью экрана служит фольга лицевой стороны платы. Крепят экран пайкой в пистоны (рис. 53, *в*). Изготовляют экран из латуни толщиной 0,2—0,4 мм, а проволочные штыри припаивают к нему припоем ПОС-40.

Удобна конструкция экрана типа «коробка для торта»: на плату крепят крышку, в которую устанавливают модуль (рис. 53, *г*). Сверху одевают экран (коробку) нужной глубины. Крышка должна охватывать экран и плотно прижиматься к его краям. Ее делают из тонкого (0,12—0,18 мм) упругого материала, а загнутые края в углах не соединяют. Экран к крышке крепят пайкой в двух доступных точках или пружинной защелкой из стальной проволоки. Для пружины в обеих половинках экрана делают отверстия.

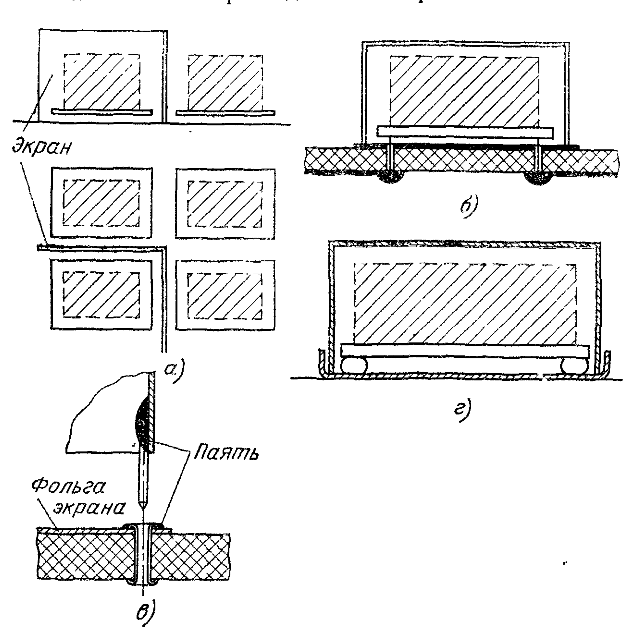


Рис. 53. Способы экранирования модулей.

При близком размещении модулей их выводы, сделанные через край, могут замыкаться с экраном и их лучше делать прямыми. В сборочной плате для выводов сверлят смещенные на полшага отверстия. Концы выводов снаружи загибают к прежним контактным площадкам и припаивают. Это позволяет при необходимости свободно снять модуль, отпаяв выводы. Модуль в экране устанавливают на изоляционные шайбы, на выводы одевают изоляционные трубки, предохраняющие их от замыкания с экраном.

19. МОДЕРНИЗАЦИЯ И РЕМОНТ АППАРАТУРЫ НА МОДУЛЯХ

Ставим перед собой первую задачу — введение АРУ. При решении этой задачи воспользуемся литературными источниками [52, 53, 56, 57, 58]

Участки схем из первых четырех источников даны на рис. 54, *а—г*. Каскады ВЧ (НЧ) в схемах рис. 54, *а* и *г* однотипны. В схеме рис. 54, *в* применены транзисторы различной структуры. На входе усилителя ВЧ по схеме рис. 54, *б* имеется эмиттерный повторитель, увеличивающий входное сопротивление усилителя и позволяющий повысить чувствительность приемника. АРУ в схеме рис. 54, *г* работает с задержкой — при малых сигналах транзистор T_7 закрыт и АРУ не работает.

Из этих схем надо выбрать такую, при которой наименьшее число модулей будет заменено. Для этого необходимо, чтобы АРУ работала от сигналов отрицательной полярности с детектора модуля ПО2. Этому условию удовлетворяет схема рис. 54, *г*, содержащая усилитель на транзисторе структуры *p-n-p*, Выполнив усилитель ВЧ с первым транзистором структуры *n-p-n* (рис. 54, *д*), получают требуемый эффект: напряжение смещения на него подают с эмиттера T_3 (ПО2), и при повышении уровня сигнала транзисторы T_1 и T_2 закрываются; при этом сигнал на детекторе уменьшается до наступления состояния равновесия. Если приемник выполнен на транзисторах КТ315 (структуры *n-p-n*) (модули В01, В02, см. рис. 34) схему, показанную на рис. 54, *в*, используют без переделок (рис. 54, *е*). Но простейшая АРУ работает и при малом уровне сигнала на детекторе, а глубина регулировки недостаточна. Первый недостаток исправляют введением в цепь АРУ задержки [58], второй — применением усилителя (рис. 54, *ж*). Чувствительность приемника повышают введением эмиттерного повторителя (рис. 54, *з*). Еще большее увеличение чувствительности дает полевой транзистор [59] (рис. 54, *и*). Однако увеличение усиления до детектора в малогабаритной аппаратуре легко приводит к ее самовозбуждению из-за близкого расположения модулей усилителя и магнитной антенны. Эту связь уменьшают, поместив ВЧ модули в экраны. Выбранные схемы лучше выполнить в виде двух модулей (на рис. 54, з обведены штриховыми линиями). В первом размещают эмиттерный или истоковый повторитель и усилитель АРУ, а во втором — усилитель ВЧ. Если все модули плоские, то для одного из них не хватит места. Поэтому целесообразно новые модули компоновать иным методом и на месте модуля ПО1 разместить два модуля размером 21×15 мм (В12 и В13). Их компоновка показана на рис. 55, *а*, *б*.

Возможен другой путь — уменьшение размеров источника питания применением вместо батареи 3336Л трех элементов 332. Питать приемник можно и от элементов А-332 («Ореол-2»), не уступающих по емкости батарее 3336Л, или от четырех аккумуляторов Д-0,25.

Улучшить избирательность приемника и увеличить его чувствительность можно, преобразовав его в супергетеродин. Такое преобразование описано в [52, 56].

В модульной конструкции переделку приемника на супергетеродинный можно осуществить поэтапно, например в такой последовательности. Входной эмиттерный повторитель (рис. 54, *з*) заменяют преобразователем частоты, выполненным по схеме с совмещенным гетеродином (рис. 56, *а*). Контур L_6C_6 в коллекторной цепи транзистора T_1 настроен на промежуточную частоту 465 кГц. Избирательность приемника с такой схемой выше, чем приемника прямого усиления. Избирательность по соседнему каналу улучшают введением пьезофильтра ФП1П-015 (рис. 56, *б*), однако при этом снижается чувствительность. Потерю чувствительности компенсируют введением

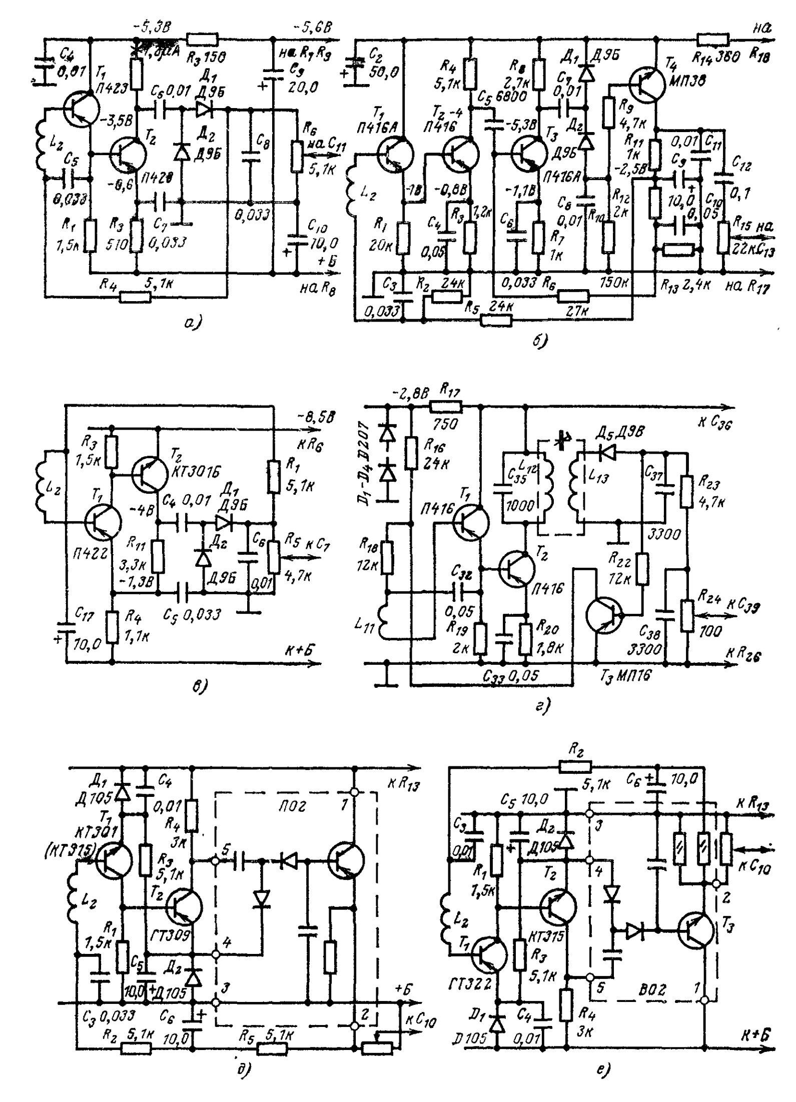


Рис. 54. Схемы каскадов с АРУ.

в УПЧ эмиттерного повторителя (модуль В12), что позволяет снимать сигнал с большей части контура L_5C_{10} (рис. 56, *в*).

При компоновке модуля преобразователя катушку гетеродина лучше размещать на отдельной плате: при увеличении числа диапа-

Рис. 54. Схемы каскадов с АРУ. (*Продолжение*)

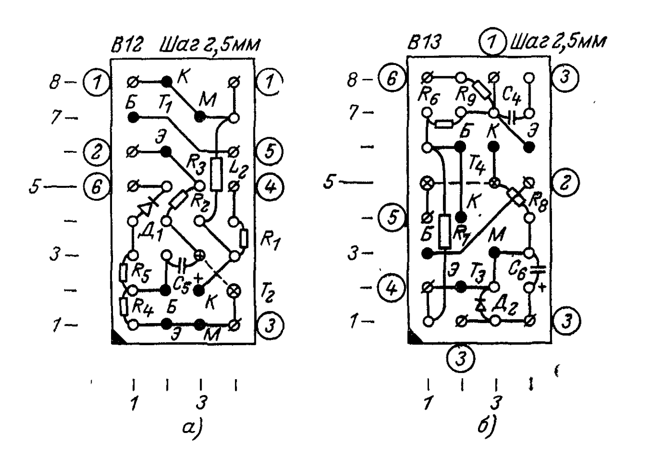
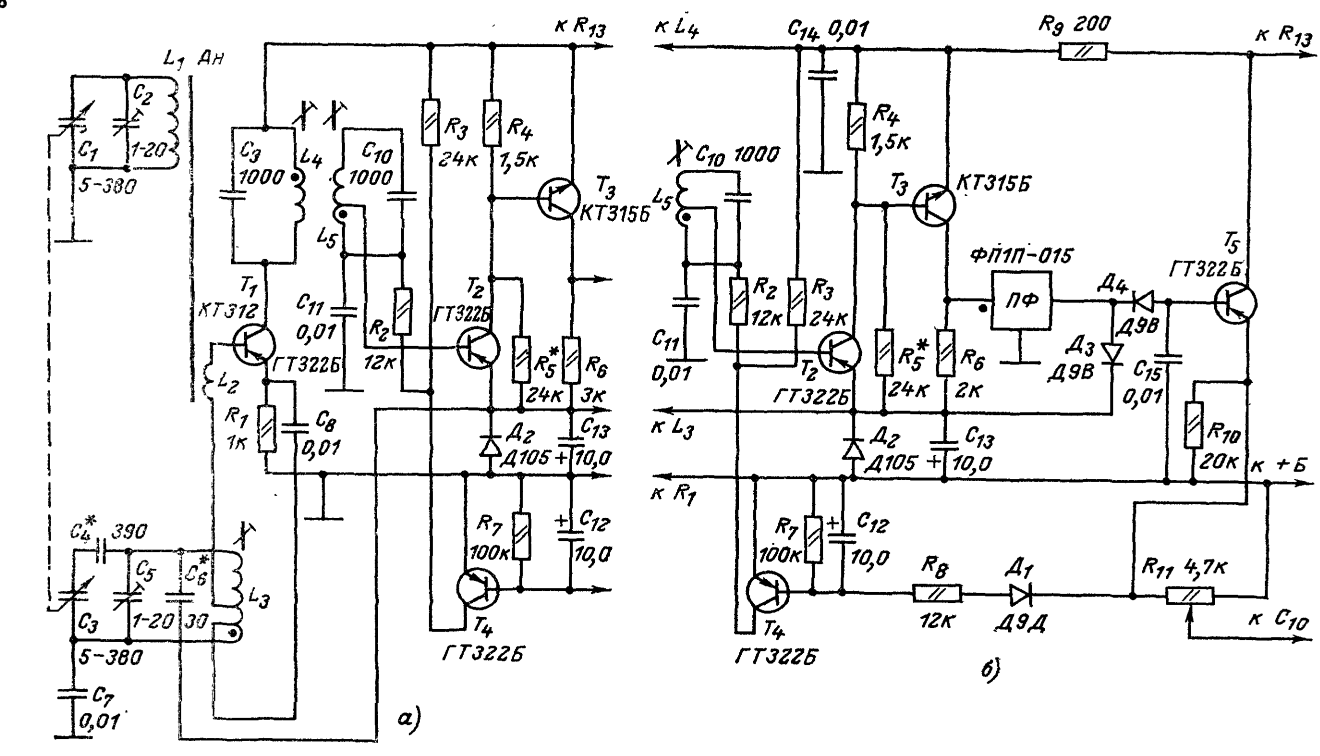


Рис. 55. Компоновка модулей, принципиальные схемы которых приведены на рис. 54, *з*, *и*.


к R13
L1 Ан
C1
5-380
C2
1-20
C9
1000
L4
C10
1000
L5
C11
0,01
R2
12к
R3
24к
R4
1,5к
T3
КТ315Б
T2
ГТ322Б
T1
КТ312
ГТ322Б
L2
R1
1к
C8
0,01
R5*
24к
R6
3к
Д2
Д105
C13
10,0
R7
100к
C12
10,0
T4
ГТ322Б
C4*
390
C5
1-20
C6*
30
L3
C3
5-380
C7
0,01
а)
к L4
C14 0,01
R9 200
к R13
C10 1000
L5
R4
1,5к
T3
КТ315Б
ФП1П-015
ПФ
T5
ГТ322Б
Д4
Д9В
Д3
Д9В
C11
0,01
R2
12к
R3
24к
T2
ГТ322Б
R5*
24к
R6
2к
C15
0,01
к L3
Д2
Д105
C13
10,0
R10
20к
к +Б
к R1
R7
100к
C12
10,0
R8
12к
Д1
Д9Д
R11 4,7к
к C10
T4
ГТ322Б
б)

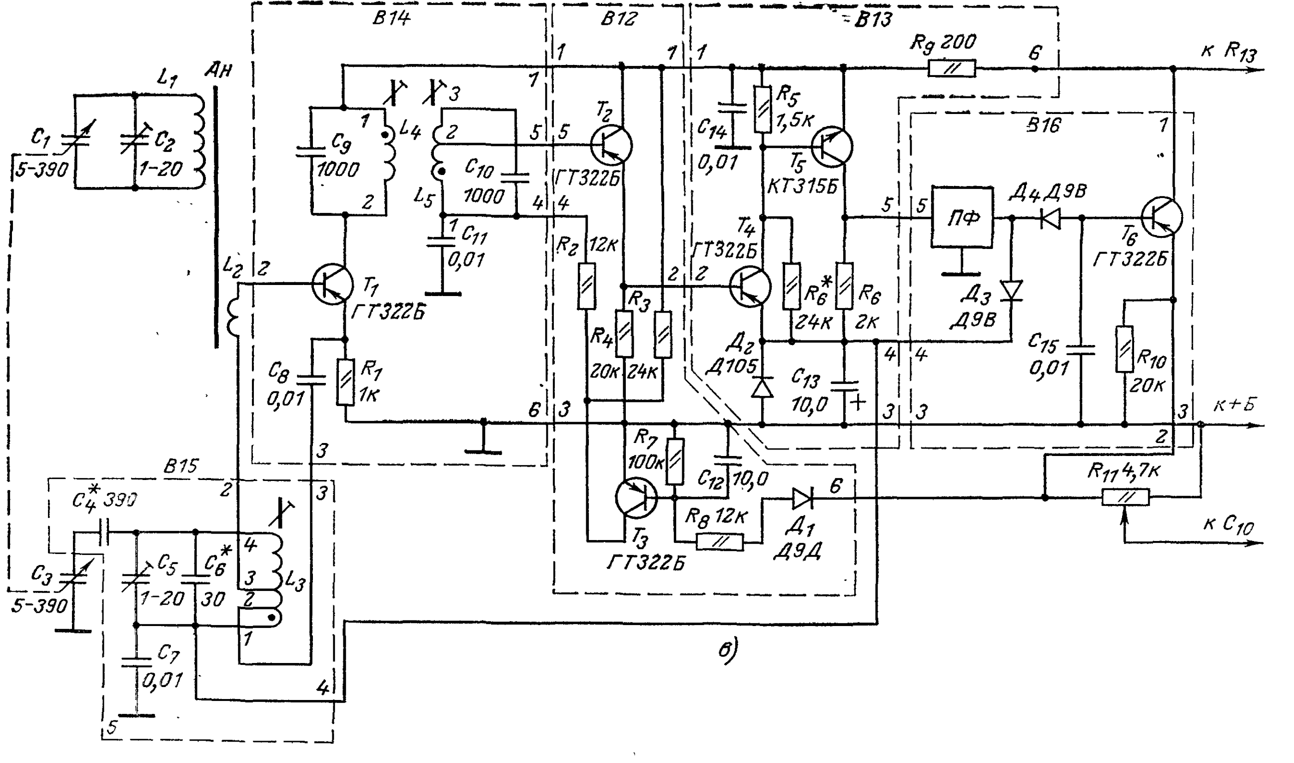
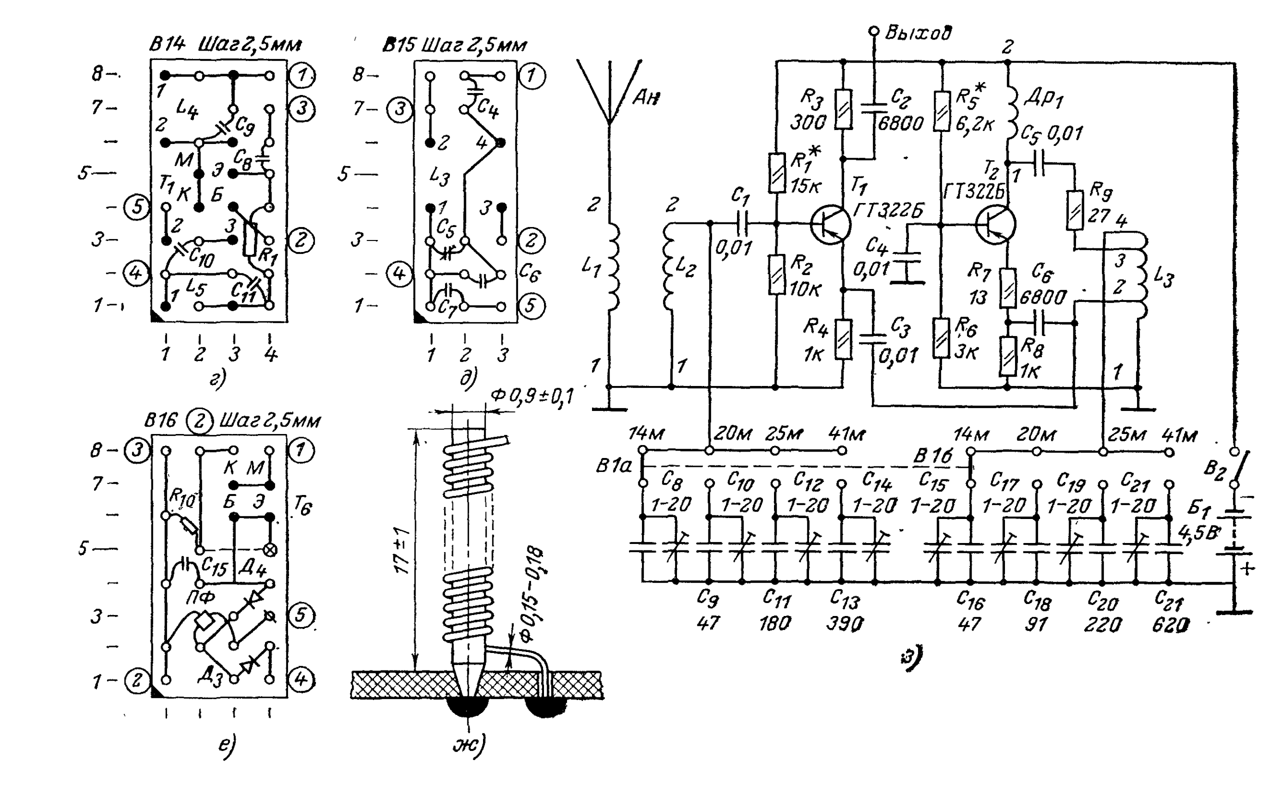


Рис. 56. Схемы высокочастотных каскадов приемника.


В14 Шаг 2,5мм
L4
C9
C8
M
Э
T1
К
Б
R1
C10
L5
C11
г)
В15 Шаг 2,5мм
C4
L3
C5
C6
C7
д)
В16 Шаг 2,5мм
К
М
R10
Б
Э
T6
C15
Д4
ПФ
Д3
е)
Ф 0,9±0,1
17±1
Ф 0,15–0,18
ж)
Выход
Ан
L1
L2
C1
0,01
R3
300
C2
6800
R1*
15к
T1
ГТ322Б
R2
10к
R4
1к
C3
0,01
C4
0,01
R5*
6,2к
R6
3к
Др1
C5 0,01
T2
ГТ322Б
R9
27
R7
13
C6
6800
R8
1к
L3
14м
20м
25м
41м
В1а
В1б
C8
1-20
C10
1-20
C12
1-20
C14
1-20
C15
1-20
C17
1-20
C19
1-20
C21
1-20
C9
47
C11
180
C13
390
C16
47
C18
91
C20
220
C21
620
В2
Б1
4,5В
з)

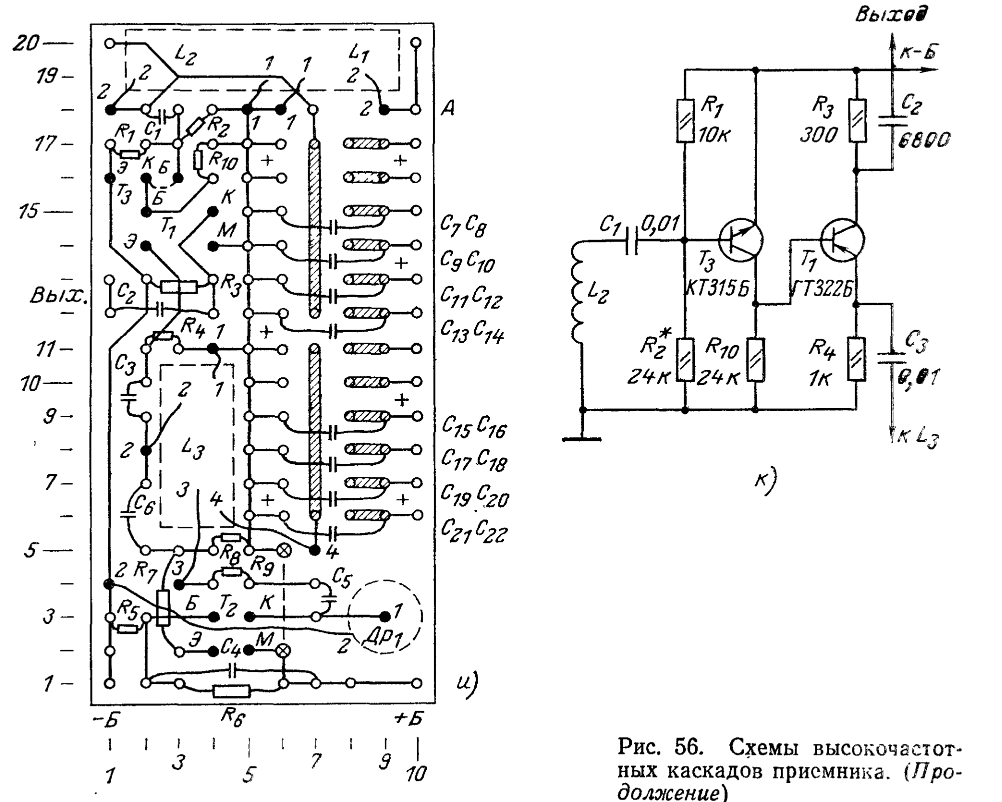


Рис. 56. Схемы высокочастотных каскадов приемника. (*Продолжение*)

зонов катушки не поместятся на модуле. Компоновка модулей В14, В15 и В16 по этому варианту показана на рис. 56, *г—е*.

В контурах преобразователя частоты применены сердечники и каркасы катушек от радиоприемника «Орбита-2». В качестве подстроечных конденсаторов применены навитые на штыри спирали из изолированного медного провода. Штыри делают из отрезка провода ПЭВ-2 диаметром 0,8—1 и длиной 16—18 мм и один из концов припаивают к плате (см. рис. 33). На штырь виток к витку наматывают провод марки ПЭВ-1 диаметром 0,15—0,18 мм и его конец припаивают к плате (рис. 56, *ж*). Емкость такого конденсатора составляет 10—15 пФ. Ее можно увеличить до 20—25 пФ, если штырь сделать из голого провода. Подстраивают такой конденсатор, сматывая тонкий провод.

Дальнейшее совершенствование может идти по пути увеличения числа диапазонов. Можно добавить новые контуры в гетеродин и на вход приемника. Но есть и иное решение: введение еще одного преобразователя частоты [4]. Для этого в приемник встраивают коротковолновый конвертер. Рассмотрим схему конвертера, приведенную на рис. 56, *з* [60]. В ней вместо транзисторов ГТ322Б можно использовать КТ315Б. Контуры конвертера имеют фиксированную настройку на середину каждого из четырех коротковолновых диапазонов. Такая схема позволяет использовать простой переключатель. Последний выполнен печатным способом на плате модуля, компоновка которого показана на рис. 56, *и*.

В модуле предусмотрена возможность добавления еще двух диапазонов и входного апериодического усилителя на транзисторе КТ315Б (рис. 56, *к*). Место для размещения конвертера в приемнике освобождают путем перевода его питания на батарею из элементов 332 или аккумуляторов Д-0,25. Для уменьшения связей с приемником модуль конвертера помещают в экран. Для его подключения и подачи питания используют одно из положений переключателя диапазонов или переделывают последний на три положения (диапазоны ДВ, СВ, КВ).

Катушки индуктивности конвертера выполнены на каркасах диаметром 5 мм и содержат: L_1 — 22 витка провода ПЭЛШО 0,2, намотанных внавал на длине 5 мм; L_2 — 8 витков провода ПЭЛ 0,64 на таком же каркасе с шагом 1,5 мм; расстояние между катушками 5 мм; L_3 — 13,5 витков провода ПЭЛ 0,41 с шагом 0,5 мм; отводы от 0,5 и 8,5 витков, считая от заземленного конца. Дроссель $Др_1$ имеет 60 витков провода ПЭЛ 0,12, намотанных внавал на длине 10 мм.

Ремонт модульной аппаратуры выполняют в два этапа: 1. Находят неисправный модуль и извлекают его из аппаратуры. Методы поиска неисправностей обычные. 2. При наличии подобного модуля (например, вынутого при модернизации) его устанавливают в аппаратуру и проверяют ее работу. В извлеченном модуле отыскивают и устраняют неисправность. Исправленный модуль можно вновь установить в аппаратуру.

Глава шестая
ПЕЧАТНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ

Способ печатного монтажа позволяет вместе с печатными проводниками и контактными площадками выполнять и другие детали или их элементы, например печатные контакты переключателей и

Спилить

Ф3

а)

Ф11

Ф6,5

R7

Ф15

Ф17

Рабочий сектор

б)

15

3

1

2

в)

15

Ф 1,7(2,1)

Ф3

Ф1

15

19

5,5

Ф 0,8 6отв.

19

г)

Рис. 57. Детали поворотного переключателя.

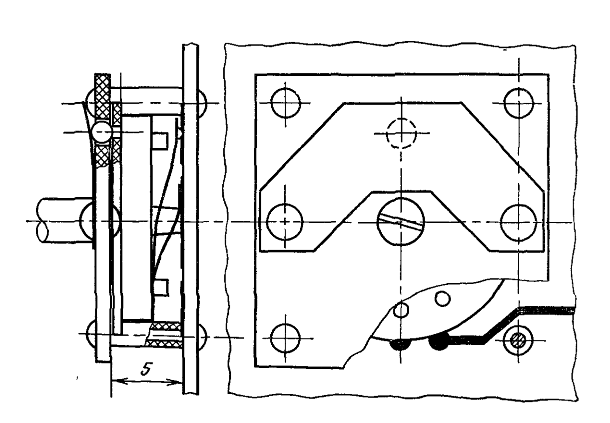


Рис. 58. Переключатель в сборе.

разъемов. Печатным способом можно также выполнить постоянные конденсаторы небольшой емкости, обкладки подстроечных или переменных конденсаторов и катушки индуктивности. Рассмотрим лишь печатные переключатели, поскольку они наиболее часто применяются в радиолюбительской практике.

Поворотный переключатель. Наиболее просто сделать однополюсный переключатель на число переключений до 12. В нем используют подвижной контакт от переменного резистора СП-0,4, спиливая стопорные выступы на пластмассовом основании контакта до высоты

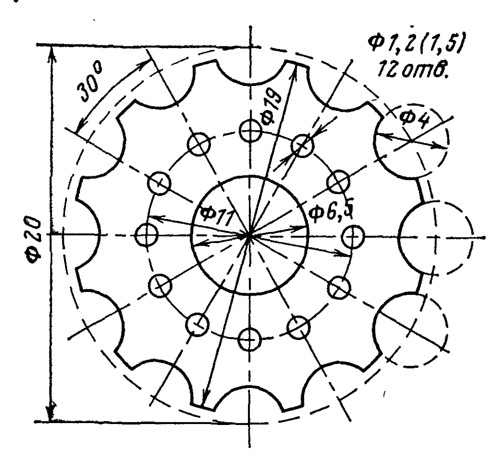


Рис. 59. Звездочка для переключателя.

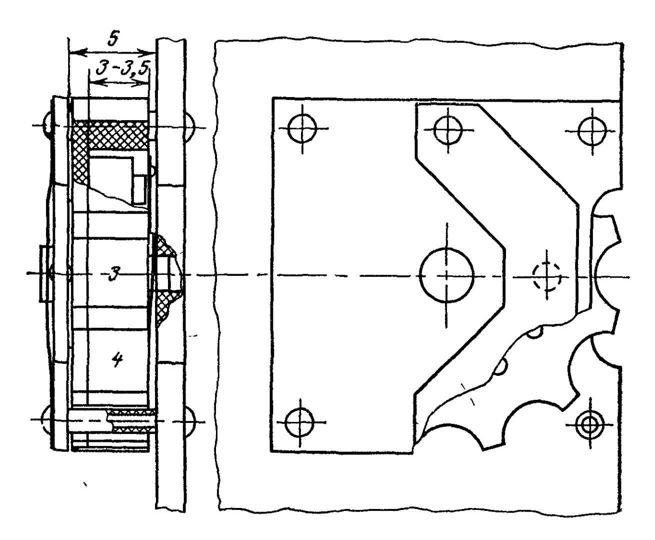


Рис. 60. Вариант переключателя в сборе (со звездочкой).

0,7—0,8 мм (рис. 57, *а*). Со стороны оси на него наклеивают шайбу с 12 фиксирующими отверстиями (рис. 57, *б*). При числе переключений меньше 12 шайба должна иметь диаметр 17 мм; в ней выпиливают рабочий сектор. Контакты переключателя (поз. *1* на рис. 57, *в*) вычерчивают на плате по трафарету. Со схемой их соединяют печатными проводниками или перемычками через площадки *2* диаметром 1,5 мм. Площадки *3* диаметром 2 мм имеют расстояние между центрами 15 мм. На этих местах ставят штыри для крепления верхней пленки (рис. 57, *г*).

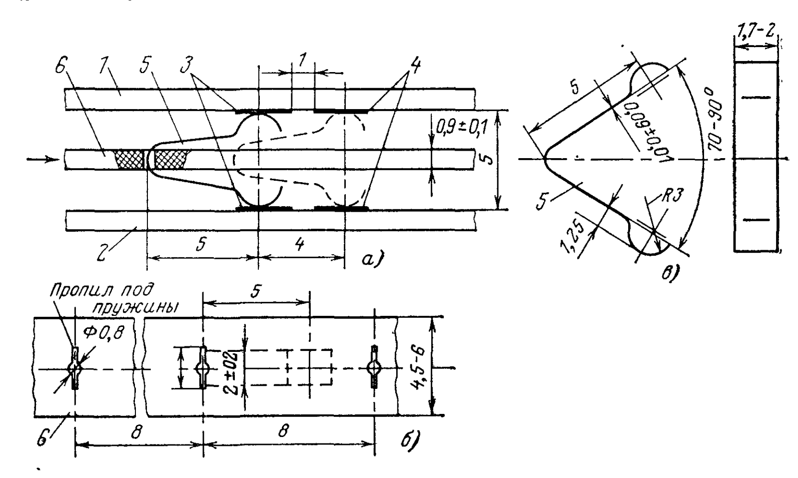


Рис. 61. Конструкция двухплатного кнопочного переключателя.

Собранный переключатель показан на рис. 58. Контакты переключателя вычерчивают после нанесения на плату площадок по трафарету. Поверхность контактов после нанесения их контуров тщательно заливают краской и затем стравливают не защищенную фольгу. Таким переключателем можно управлять и с торца платы, что удобно при близком их размещении. Для этого используют звездочку с 12 выступами (рис. 59). Ее приклеивают вместо шайбы к основанию подвижного контакта. Пазы в звездочке делают сверлом диаметром 4 мм. К заготовке звездочки со стороны основания можно наклеить кольцо с внутренним диаметром 14 мм и толщиной 3—3,5 мм. В пазах такой звездочки пишут цифры, обозначающие положение переключателя. В плате и верхней планке делают овальный вырез, а ось переключателя укорачивают до 1,5—2 мм. Собранный переключатель со звездочкой показан на рис. 60. Поворотные переключатели делают и на несколько переключений [11].

Двухплатный кнопочный переключатель (рис. 61, *а*—*в*). Платы *1* и *2* имеют по два соосных контакта *3* и *4*. Неподвижные контакты *3* замкнуты пружиной *5*, закрепленной на движке *6*. Смещение движка вправо переводит пружину на контакты *4*. После возвращения движка влево вновь замыкаются контакты *3*. Движок *6* изготовляют из полоски гетинакса, а пружины — из бериллиевой или фосфористой бронзы.

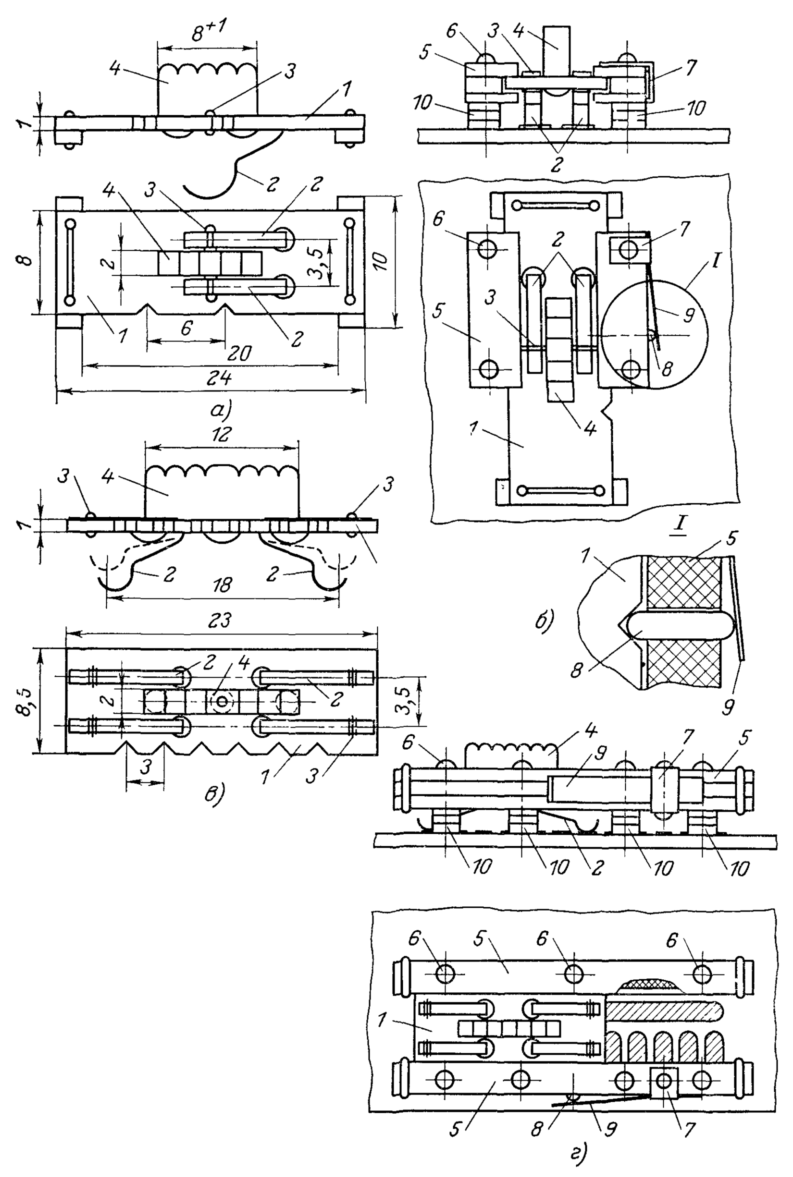


Рис. 62. Конструкция движкового переключателя.

Для закрепления пружин на движке служат поперечные пропилы. Контакты переключателя на фольге плат чертят или наносят по трафарету.

Движковый переключатель. Контактная система переключателя (рис. 62, *а*) состоит из движка *1*, на котором бандажами *3* закреплены две контактные пружины *2*. Движок сделан из гетинакса толщиной 1 мм. На нем закреплена рукоятка *4* из цветного полистирола.

Контакты переключателя выполнены на общей плате (рис. 45).

Переключатель в собранном виде показан на рис. 62, *б*. Движок *1* входит в пазы направляющих *5*, закрепленных на плате заклепками *6*. Нужный зазор получен установкой направляющих *5* на шайбы *10*. Под одну из заклепок подложена П-образная скоба *7*, к которой припаяна пружина *9*. Она создает усилие на стопоре *8*, который входит в пропилы движка *1*. Направляющие склеены из трех полосок гетинакса. Ширина средней из них на 1 мм меньше; это и образует паз. Отверстие для стопора *8* сверлят после склеивания полосок. Стопор *8* изготовляют из латуни круглого или прямоугольного сечения. В отверстие направляющей он должен входить без трений и большого люфта. Скобу *7* изгибают из полоски латуни или белой жести. Пружину *9* изготовляют из фосфористой бронзы или стали. Фиксирующие пазы на движке *1* пропиливают на расстоянии 6 мм друг от друга.

Многопозиционный движковый переключатель, примененный в модуле конвертера, по конструкции аналогичен описанному выше, и номера их деталей на рис. 62, *а* — *г* совпадают. Движок *1* с пружинами *2* показан на рис. 62, *в*, на движке их закреплено две пары. Длина направляющих *5* (рис. 62, *г*) здесь больше длины движка *1*. Число фиксирующих пазов на движке *1* зависит от количества диапазонов. Для улучшения фиксации пружину *9* стопора *8* делают сильнее (из двух полосок), а люфт стопора — меньше. На крышке приемника вдоль пропила для рукоятки *4* наносят риски и надписи, а на рукоятке — метку, по которой судят о положении переключателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Цымбалюк В. С., Крюков Ю. Г., Грибов Э. Ю.** Миниатюризация приемоусилительной аппаратуры. М., «Связь», 1968.

2. **Воробьев В. И.** Учебный радиоконструктор на модулях. М., «Энергия», 1970.

3. **Kühne H.** Hilfsgerat zum Zeichen gedrückter Schaltungen.— «Funkamateur», 1966, № 7.

4. **Микиртичан Г. М.** Транзисторные приемники с КВ диапазонами. М., «Энергия», 1974.

5. **Мелешенковский В.** Транзисторный 3-V-4.— «Радио», 1970, № 11.

6. **Большов В.** Транзисторные усилители с непосредственной связью.—«Радио», 1970, № 11.

7. **Смельницкий Ф. С. и др.** Фольгированные слоистые пластики для печатных схем. М., «Энергия», 1969.

8. **Варламов В. Г.** Компоновка радио- и электронной аппаратуры. М., «Советское радио», 1966.

9. **Фролов В.** Печатный монтаж в радиолюбительских конструкциях.—«Радио», 1968, № 1.

10. **Ерлыкин Л. А.** Практические советы радиолюбителю. Воениздат, 1965.

11. **Бортновский Г. А.** Печатные схемы в радиолюбительских конструкциях. М., «Энергия», 1972.

12. **Пестряков В. Б.** Конструирование радиоэлектронной аппаратуры. М., «Советское радио», 1969.

13. **Добрынин Ю.** Изготовление печатных плат электролитическим способом.—«Радио», 1964, № 10.

14. **Бездельев Ю. В.** Малогабаритные любительские электроизмерительные приборы. М., «Энергия», 1972.

15. **Шкержик Я.** Рецептурный справочник для электротехника. М., «Энергия», 1971.

16. **Шрайбер Л. Я., Макучев Э. И.** Печатные схемы в радиотехнике. Л., «Энергия», 1967.

17. **Волин М. Л.** Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. М., «Советское радио», 1972.

18. **Качурин К.** Транзисторные усилители с непосредственной связью.—«Радио», 1965, № 3.

19. **Архипов С.** Из набора полупроводниковых приборов.— «Радио», 1973, № 5.

20. **Скучарев В.** Гальваническое травление.—«Радио», 1971, № 4.

21. **Федулова А. А., Явич Э. Р., Котов Е. П.** Многослойные печатные платы. М., «Советское радио», 1973.

22. **Солин Ю. В. и др.** Контроль смещения слоев при изготовлении многослойных печатных плат по методу открытых контактных площадок.—«Приборы и системы управления», 1970, № 10.

23. **Морозов С.** Приемник прямого усиления с симметричной входной цепью.—«Радио», 1975, № 9.

24. **Джонсон Р.** Как строить радиоаппаратуру. М., «Энергия», 1968.

25. **Бурлянд В. А., Жеребцов И. П.** Хрестоматия радиолюбителя. М., «Энергия», 1971.

26. **Борисов В.** Макетная плата.—«Радио», 1971, № 2.

27 **Myslik Alek.** Zaciname od oklamy krystalky. — «Amaterske Radio», 1971, № 1—4.

28. **Румянцев М.** Практика налаживания любительских карманных приемников. М., Изд. ДОСААФ, 1965.

29. **Морозов В. П.** Налаживание радиолюбительских приемников на транзисторах. М., Изд. ДОСААФ, 1970.

30. **Екимов Е. Д.** Расчет и конструирование транзисторных радиоприемников. М., «Связь», 1972.

31. **Jakubaschk H.** Elektronischer Rüttelstab zum Auffinden kalter Lötstellen. — «Radio und Fernsehen», 1966, H. 23.

32. **Бобров Н. В. и др.** Радиоприемные устройства. М., «Советское радио», 1971.

33. **Радиолюбительский** справочник. Под общ. ред. Д. П. Линде. М.—Л., «Энергия», 1966.

34. **Краткий** справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры. Под общ. ред. Р. Г. Варламова. М., «Советское радио», 1972.

35. **Чернышев А. А. и др.** Бескорпусные полупроводниковые приборы. М., «Энергия», 1973.

36. **Горюнов Н. Н. и др.** Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам. М., «Энергия», 1972.

37. **Василькевич И.** Усилительный блок транзисторного приемника.—«Радио», 1966, № 6.

38. **Иванов А.** Печатный монтаж.—«Радио», 1958, № 8.

39. **Ходаков А.** Изготовление печатных схем в любительских условиях.—«Радио», 1960, № 7.

40. **Боженов В.** Простой способ получения монтажных плат.—«Радио», 1962, № 4.

41. **Какими** составами можно покрывать контур печатной платы перед травлением ее в растворе хлорного железа.—«Радио», 1966, № 11 (наша консультация).

42. **Как** в любительских условиях изготовить печатную плату при отсутствии фольгированного гетинакса.—«Радио», 1967, № 5 (наша консультация).

43. **Витаскоп.** Технический арсенал любителя природы.—«Наука и жизнь», 1966, № 7.

44. **Фролов В. В.** Формовка выводов радиодеталей.—«Радио», 1963, № 3.

45. **Ежов Е.** Способ изготовления печатной платы.—«Радио», 1968, № 3.

46. **Шевцов Г.** Печатные платы — гальваническим методом.—«Радио», 1970, № 4.

47. **Приспособление** для разметки печатных схем.—«Радио», 1970, № 8.

48. **Захаров С.** Способ изготовления печатных плат.—«Радио», 1974, № 3.

49. **Еременко Н.** Двусторонние печатные платы.—«Радио», 1974, № 3.

50. **Земитанс Г. и др.** Нанесение рисунка печатной платы.—«Радио», 1975, № 4.

51. **Бушуев Е.** Изготовление печатной платы.—«Радио», 1975.

52. **Васильев В.** Портативный транзисторный.—«Радио», 1970, № 4.

53. **Строганов А.** Транзисторный 3-V-3 с АРУ.—«Радио», 1972, № 2.

54. **Бородкин В.** Детали корпусов радиоаппаратуры.—«Радио», 1970, № 11.

55. **Ульяненко Н.** Простой способ изготовления печатных плат.—«Радио», 1964, № 3.

56. **Васильев В.** Малогабаритный транзисторный.—«Радио», 1973, № 2.

57. **Ершов В., Литвинов С.** Супергетеродин с настройкой транзистором.—«Радио», 1973, № 3.

58. **Заенцев В.** Схема задержанной АРУ с кремниевым диодом.—«Радио», 1966, № 1.

59. **Васильев В.** Полевой транзистор в любительских приемниках.—«Радио», 1971, № 4.

60. **Сафонов К.** Коротковолновой конвертер. — «Радио», 1973, № 3.

ОГЛАВЛЕНИЕ